

## 明 細 書

### 半導体装置及びその製造方法

#### 技術分野

[0001] 本発明は、金属配線を有する半導体装置及びその製造方法に関し、特にバリアメタル膜及びその形成方法に関する。

#### 背景技術

[0002] 近年、半導体集積回路装置(以下、半導体装置という。)の加工寸法の微細化に伴って、半導体装置の多層配線には、銅配線と誘電率が小さい絶縁膜、いわゆるLow-k膜との組み合わせが採用されている。こうすることにより、RC遅延及び消費電力の低減を可能にする。さらに、半導体装置の高集積化、高機能化及び高速化を図るために、誘電率がより低いLow-k膜の採用が検討されている。

[0003] ところで、銅配線は、通常ダマシン法によって形成される。ダマシン法には、配線及びビアプラグを交互に形成するシングルダマシン法と、配線及びビアプラグを同時に形成するデュアルダマシン法とがある。

[0004] 以下に、ダマシン法による多層配線の形成方法について、図11(a)及び(b)を参照しながら説明する。

[0005] 図11(a)に示すように、シリコン基板101上に第1の絶縁膜102を形成した後に、該第1の絶縁膜102中に第1のバリアメタル膜103を有する下層の銅配線である第1の配線104を形成する。なお、シリコン基板101上には、図示していないトランジスタなどが形成されている。続いて、第1の絶縁膜102及び第1の配線104の上に、銅の拡散を防止する拡散防止膜105及び第2の絶縁膜106を順に形成し、拡散防止膜105及び第2の絶縁膜106よりなる絶縁層を形成する。

[0006] 次に、拡散防止膜105及び第2の絶縁膜106にビアホール106aを形成すると共に、第2の絶縁膜106に配線溝106bを形成することにより、ビアホール106a及び配線溝106bよりなる凹部106cを形成する。なお、ビアホール106a及び配線溝106bは、周知のリソグラフィ技術、エッチング技術、アッシング技術、及び洗浄技術を用いて、デュアルダマシン配線溝(ビアホール106a及び配線溝106bよりなる凹部106c)を

形成する工程により形成すればよい。なお、一般に、ビアホール106aを先に形成した後に、配線溝(トレンチ)106bを形成する方法が良く用いられている(例えば、特許文献1参照)。

- [0007] 次に、凹部106cの壁面に沿うように、物理気相成長法(PVD:physical vapor deposition)などにより、第2のバリアメタル膜107を形成する。
- [0008] 次に、第2のバリアメタル膜107の上に、物理気相成長法により、銅シード層を形成した後に、該銅シード層を種に用いた銅めっきにより、凹部106cを埋め込むと共に第2の絶縁膜106の表面全体を覆うように銅膜を形成する。続いて、化学機械研磨(CMP:chemical mechanical polishing)法により、銅膜における凹部106cの内側に形成されている部分以外で第2の絶縁膜106の上に形成されている部分と第2のバリアメタル膜107における凹部106cの内側の部分以外で第2の絶縁膜106の上に形成されている部分を研磨除去する。このようにして、第2の配線108及びその一部であるビアプラグを形成できる。なお、第2の配線108は、配線、ビアプラグ、又はこれら両方のいずれかであってもよい。以上の一連の動作を繰り返し行なうことにより、多層配線を形成することができる。
- [0009] ここで、第2の絶縁膜106及び第2のバリアメタル膜107に用いる材料について、図11(b)を参照しながら説明する。
- [0010] ここで、拡散防止膜105には、シリコン窒化膜、シリコン窒化炭化膜、又はシリコン炭化酸膜などが用いられる。銅拡散防止膜105は、下層の第1の配線104を構成する銅が第2の絶縁膜106中に拡散することを防止する働きを有する。
- [0011] また、第2の絶縁膜106には、シリコン酸化膜、フッ素ドーパシリコン酸化膜、シリコン酸化炭化膜、又は有機膜よりなる絶縁膜が用いられる。すなわち、第2の絶縁膜106は、図11(b)に列挙した膜を用いればよい(なお、図中では、第2のバリアメタル膜107が金属窒化膜である場合について示している。)。また、これらの膜は、化学気相成長法で形成された膜であってもよいし、スピン塗布法により形成されたSOD(spin on dielectric)膜であってもよい。
- [0012] 一般に、銅は、熱又は電界によって容易にシリコン酸化膜などの絶縁膜中を拡散するので、これが原因となってトランジスタの特性劣化が生じやすい。また、銅は、絶

縁膜との密着性が低い。したがって、銅配線を形成する際には、銅と絶縁膜との間に、タンタル膜又は窒化タンタル膜よりなるバリアメタル膜を形成することにより、銅が絶縁膜へ拡散することを防止すると共に絶縁膜及び銅との密着性を向上させる方法が提案されている(例えば、特許文献2参照)なお、タンタル膜又は窒化タンタル膜は、単層又は積層構造として用いられる。

- [0013] しかしながら、例えば前述の例において、第2のバリアメタル膜107としてタンタルなどの高融点金属膜を用いた場合には、凹部106cが形成される第2の絶縁膜106と高融点金属膜との密着性が悪いという問題がある。この密着性が悪いという問題に対しては、例えば第2のバリアメタル膜107としてタンタル膜を用いた場合には、タンタル膜よりなる第2のバリアメタル膜107と第2の絶縁膜106との間にタンタル窒化膜を形成することによって密着性の悪さを改善してきたが、十分な密着性が得られているわけではない。
- [0014] また、第2のバリアメタル膜107としてタンタル膜を用いた場合には、電解めっきによって銅を形成する際に、タンタル膜は酸化されるので、高抵抗の酸化タンタル膜が形成されてしまう。このため、配線抵抗の上昇を避けることができないという問題を有している。
- [0015] また、第2のバリアメタル膜107として窒化タンタル膜を用いた場合には、窒化タンタル膜は酸化されることはないが、窒化タンタル膜は高抵抗であって、且つ銅との密着性が低いという問題を有している。
- [0016] さらに、第2のバリアメタル膜107としてチタン膜又は窒化チタン膜を用いた場合にも、それぞれ、タンタル膜を用いた場合又は窒化タンタル膜を用いた場合と同様の問題が存在する。
- [0017] これらの問題に鑑みて、特に、第2のバリアメタル膜107の低抵抗化を実現する目的で、金属及びその金属酸化物自体が低抵抗であるルテニウム又はイリジウムなどの金属を第2のバリアメタル膜107として用いることが注目されてきている(例えば、特許文献3及び4参照)。なお、これらの金属は、一般に、原子層成長法又は化学気相成長法によって形成される。

特許文献1:特開平11-223755号公報

特許文献2:特開2002-43419号公報

特許文献3:特許第3409831号公報

特許文献4:特開2002-75994号公報

## 発明の開示

### 発明が解決しようとする課題

[0018] しかしながら、タンタル又はルテニウムなどの高融点金属膜をバリアメタル膜として用いる場合には、ダマシン配線用の凹部が形成される絶縁膜と高融点金属膜よりなるバリアメタル膜との密着性が悪いという問題がある。また、高融点金属膜よりなるバリアメタル膜と絶縁膜との間に金属窒化膜を形成することにより、絶縁膜の上に高融点金属よりなるバリアメタル膜を直接形成する場合よりも密着性の悪さを改善することができるが、抵抗が増大するという問題がある。

[0019] 前記に鑑み、本発明の目的は、低抵抗であって、且つ、絶縁膜及び配線との間で高い密着性を有するバリアメタル膜を有する半導体装置及びその製造方法を提供することである。

### 課題を解決するための手段

[0020] 前記の目的を達成するために、本発明に係る第1の半導体装置は、基板上に形成された絶縁膜と、絶縁膜中に形成された埋め込み金属配線と、絶縁膜と金属配線との間に形成されたバリアメタル膜とを有する半導体装置において、バリアメタル膜は、金属化合物膜であり、金属化合物膜は、絶縁膜を構成する元素のうち少なくとも1つを含んでいることを特徴とする。

[0021] 第1の半導体装置によると、金属化合物膜と絶縁膜との接合面に同一元素が存在するので、金属化合物膜と絶縁膜との接合面に同一元素が存在しない場合に比べて、金属化合物膜と絶縁膜との密着性は飛躍的に向上している。このため、密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を実現することができる。

[0022] 前記の目的を達成するために、本発明に係る第2の半導体装置は、基板上に形成された絶縁膜と、絶縁膜中に形成された埋め込み金属配線と、絶縁膜と金属配線との間に形成されたバリアメタル膜とを有する半導体装置において、バリアメタル膜は、絶縁膜と接するように形成された金属化合物膜、及び金属化合物膜の上に形成され

た1層以上の金属を含む膜よりなり、金属化合物膜は、絶縁膜を構成する元素のうち少なくとも1つを含んでいることを特徴とする。

- [0023] 第2の半導体装置によると、金属化合物膜と絶縁膜との接合面に同一元素が存在するので、金属化合物膜と絶縁膜との接合面に同一元素が存在しない場合に比べて、金属化合物膜と絶縁膜との密着性は飛躍的に向上している。また、バリアメタル膜は、金属化合物膜とその上に形成された1層以上の金属を含む膜よりなるので、バリアメタル膜全体として低抵抗化することができる。このため、低抵抗であって、且つ、密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を実現することができる。
- [0024] 本発明に係る第2の半導体装置において、1層以上の金属を含む膜は、金属膜、金属化合物膜、又は金属膜及び金属化合物膜のうちから選ばれた膜を組み合わせてなる多層膜よりなることが好ましい。
- [0025] このようにすると、低抵抗なバリアメタル膜を構成できると共に、金属積層膜における膜間の密着性を向上させることができる。このため、低抵抗であって、且つ、密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を実現することができる。
- [0026] 本発明に係る第1又は第2の半導体装置において、金属化合物膜は、金属窒化膜であり、絶縁膜は、窒素を含んでいることが好ましい。
- [0027] このようにすると、金属化合物膜と絶縁膜との接合面に同一元素である窒素が存在するので、金属化合物膜と絶縁膜との接合面に同一元素が存在しない場合に比べて、金属化合物膜と絶縁膜との密着性は飛躍的に向上している。このため、低抵抗であって、且つ、密着性の高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を実現することができる。
- [0028] 本発明に係る第1又は第2の半導体装置において、金属化合物膜は、金属酸化膜であり、絶縁膜は、酸素を含んでいることが好ましい。
- [0029] このようにすると、金属化合物膜と絶縁膜との接合面に同一元素である酸素が存在するので、金属化合物膜と絶縁膜との接合面に同一元素が存在しない場合に比べて、金属化合物膜と絶縁膜との密着性は飛躍的に向上している。このため、低抵抗であって、且つ、密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を実現することができる。

- [0030] 本発明に係る第1又は第2の半導体装置において、金属化合物膜は、金属炭化膜であり、絶縁膜は、炭素を含んでいることが好ましい。
- [0031] このようにすると、金属化合物膜と絶縁膜との接合面に同一元素である炭素が存在するので、金属化合物膜と絶縁膜との接合面に同一元素が存在しない場合に比べて、同一元素が存在しない場合に比べ金属化合物膜と絶縁膜との密着性は飛躍的に向上している。このため、低抵抗であって、且つ、密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を実現することができる。
- [0032] 本発明に係る第1又は第2の半導体装置において、金属化合物膜は、金属ケイ化膜であり、絶縁膜は、ケイ素を含んでいることが好ましい。
- [0033] このようにすると、金属化合物膜と絶縁膜との接合面に同一元素であるケイ素が存在するので、金属化合物膜と絶縁膜との接合面に同一元素が存在しない場合に比べて、金属化合物膜と絶縁膜との密着性は飛躍的に向上している。このため、低抵抗であって、且つ、密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を実現することができる。
- [0034] 本発明に係る第1又は第2の半導体装置において、金属化合物膜を構成する金属は、高融点金属であることが好ましい。
- [0035] このようにすると、埋め込み金属配線を形成した後にさらに上層の配線を形成する際に、およそ400℃前後の熱が加えられる場合であっても、金属化合物膜が変成することを防止できるので、信頼性の高い半導体装置を実現できる。
- [0036] 本発明に係る第1又は第2の半導体装置において、金属配線は、銅又は銅合金よりなることが好ましい。
- [0037] このようにすると、低価格で信頼性が高いと共に低抵抗である多層配線を備えた高性能の半導体装置を実現することができる。
- [0038] 前記の目的を達成するために、本発明に係る第3の半導体装置は、基板上に形成された絶縁膜と、絶縁膜中に形成された埋め込み金属配線と、絶縁膜と金属配線との間に形成されたバリアメタル膜とを有する半導体装置において、バリアメタル膜は、絶縁膜と接するように形成された金属ケイ化膜又は金属炭化膜からなる金属化合物膜よりなり、絶縁膜は、IV族元素を含んでいることを特徴とする。

- [0039] 第3の半導体装置によると、金属化合物膜及び絶縁膜は互いに4価の電子軌道を有する元素を有しているので、金属化合物膜と絶縁膜との接合面において共有結合が形成されやすい。このため、金属化合物膜と絶縁膜との密着性は飛躍的に向上する。したがって、密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を実現することができる。
- [0040] 前記の目的を達成するために、本発明に係る第4の半導体装置は、基板上に形成された絶縁膜と、絶縁膜中に形成された埋め込み金属配線と、絶縁膜と金属配線との間に形成されたバリアメタル膜とを有する半導体装置において、バリアメタル膜は、絶縁膜と接するように形成された金属ケイ化膜又は金属炭化膜よりなる金属化合物膜、及び金属化合物膜の上に形成された1層以上の金属を含む膜よりなり、絶縁膜は、IV族元素を含んでいることを特徴とする。
- [0041] 第4の半導体装置によると、金属化合物膜及び絶縁膜は互いに4価の電子軌道を有する元素を有しているので、金属化合物膜と絶縁膜との接合面において共有結合が形成されやすい。このため、金属化合物膜と絶縁膜との密着性は飛躍的に向上する。また、バリアメタル膜は金属化合物膜とその上に形成された1層以上の金属を含む膜よりなるので、バリアメタル膜全体として低抵抗化することができる。したがって、低抵抗であって、且つ、密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を実現することができる。
- [0042] 本発明に係る第4の半導体装置において、1層以上の金属を含む膜は、金属膜、金属化合物膜、又は金属膜及び金属化合物膜のうちから選ばれた膜を組み合わせる多層膜よりなることが好ましい。
- [0043] このようにすると、低抵抗なバリアメタル膜を構成できると共に、金属積層膜における膜間の密着性を向上させることができる。このため、低抵抗であって、且つ、密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を実現することができる。
- [0044] 本発明に係る第3又は第4の半導体装置において、金属化合物膜を構成する金属は、高融点金属であることが好ましい。
- [0045] このようにすると、埋め込み金属配線を形成した後にさらに上層の配線を形成する際に、およそ400℃前後の熱が加えられる場合であっても、金属化合物膜が変成す

ることを防止できるので、信頼性の高い半導体装置を実現できる。

[0046] 本発明に係る第3又は第4の半導体装置において、金属配線は、銅又は銅合金よりなることが好ましい。

[0047] このようにすると、低価格で信頼性が高いと共に低抵抗である多層配線を備えた高性能の半導体装置を実現することができる。

[0048] 本発明に係る第5の半導体装置は、基板上に形成された第1の絶縁膜と、第1の絶縁膜中に形成された埋め込み金属配線と、第1の絶縁膜と金属配線との間に形成されたバリアメタル膜とを有する半導体装置において、第1の絶縁膜とバリアメタル膜の間には、第2の絶縁膜が形成されており、バリアメタル膜は、金属化合物膜であり、金属化合物膜は、第2の絶縁膜を構成する金属のうち少なくとも1つを含んでいることを特徴とする。

[0049] 第5の半導体装置によると、金属化合物膜と第2の絶縁膜との接合面に同一元素が存在するので、金属化合物膜と第2の絶縁膜との接合面に同一元素が存在しない場合に比べて、金属化合物膜と絶縁膜との密着性は飛躍的に向上している。また、第1の絶縁膜の上に第2の絶縁膜が形成されているため、絶縁膜同士の密着性は絶縁膜と金属膜又は金属化合物膜との密着性よりも高いので、金属化合物膜と第2の絶縁膜との密着性を向上させる目的で行なう第2の絶縁膜の選択の自由度が増大する。このため、半導体装置構造設計が容易になる。このようにして、基板上に形成された絶縁膜から金属配線まで全体として密着性が大きく向上する。これにより、密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を実現することができる。

[0050] 本発明に係る第5の半導体装置において、金属化合物膜と金属配線との間には、1層以上の金属を含む膜が形成されていることが好ましい。

[0051] このようにすると、バリアメタル膜は金属化合物及びその上に形成された1層以上の金属を含む膜よりなるので、バリアメタル膜全体を低抵抗化することができる。これにより、低抵抗であって、且つ、密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を実現することができる。

[0052] 本発明に係る第5の半導体装置において、1層以上の金属を含む膜は、金属膜、金属化合物膜、又は金属膜及び金属化合物膜のうちから選ばれた膜を組み合わせ



てなる多層膜よりなることが好ましい。

- [0053] このようにすると、低抵抗なバリアメタル膜を構成できると共に、金属積層膜における膜間の密着性を向上させることができる。このため、低抵抗であって、且つ、密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を実現することができる。
- [0054] 本発明に係る第5の半導体装置において、金属化合物膜は、金属窒化膜であり、第2の絶縁膜は、窒素を含んでいることが好ましい。
- [0055] このようにすると、金属化合物膜と第2の絶縁膜との接合面に同一元素である窒素が存在するので、金属化合物膜と第2の絶縁膜との接合面に同一元素が存在しない場合に比べて、金属化合物膜と第2の絶縁膜との密着性は飛躍的に向上している。このため、低抵抗であって、且つ、密着性の高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を実現することができる。
- [0056] 本発明に係る第5の半導体装置において、金属化合物膜は、金属酸化膜であり、第2の絶縁膜は、酸素を含んでいることが好ましい。
- [0057] このようにすると、金属化合物膜と第2の絶縁膜との接合面に同一元素である酸素が存在するので、金属化合物膜と第2の絶縁膜との接合面に同一元素が存在しない場合に比べて、金属化合物膜と第2の絶縁膜との密着性は飛躍的に向上している。このため、低抵抗であって、且つ、密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を実現することができる。
- [0058] 本発明に係る第5の半導体装置において、金属化合物膜は、金属炭化膜であり、第2の絶縁膜は、炭素を含んでいることが好ましい。
- [0059] このようにすると、金属化合物膜と第2の絶縁膜との接合面に同一元素である炭素が存在するので、金属化合物膜と第2の絶縁膜との接合面に同一元素が存在しない場合に比べて、同一元素が存在しない場合に比べ金属化合物膜と第2の絶縁膜との密着性は飛躍的に向上している。このため、低抵抗であって、且つ、密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を実現することができる。
- [0060] 本発明に係る第5の半導体装置において、金属化合物膜は、金属ケイ化膜であり、第2の絶縁膜は、ケイ素を含んでいることが好ましい。
- [0061] このようにすると、金属化合物膜と第2の絶縁膜との接合面に同一元素であるケイ

素が存在するので、金属化合物膜と第2の絶縁膜との接合面に同一元素が存在しない場合に比べて、金属化合物膜と第2の絶縁膜との密着性は飛躍的に向上している。このため、低抵抗であって、且つ、密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を実現することができる。

[0062] 本発明に係る第5の半導体装置において、金属化合物膜を構成する金属は、高融点金属であることが好ましい。

[0063] このようにすると、埋め込み金属配線を形成した後にさらに上層の配線を形成する際に、およそ400℃前後の熱が加えられる場合であっても、金属化合物膜が変成することを防止できるので、信頼性の高い半導体装置を実現できる。

[0064] 本発明に係る第5の半導体装置において、金属配線は、銅又は銅合金よりなることが好ましい。

[0065] このようにすると、低価格で信頼性が高いと共に低抵抗である多層配線を備えた高性能の半導体装置を実現することができる。

[0066] 前記の目的を達成するために、本発明に係る第6の半導体装置は、基板上に形成された第1の絶縁膜と、第1の絶縁膜中に形成された埋め込み金属配線と、第1の絶縁膜と金属配線との間に形成されたバリアメタル膜とを有する半導体装置において、第1の絶縁膜とバリアメタル膜との間には、第2の絶縁膜が形成されており、バリアメタル膜は、金属ケイ化膜又は金属炭化膜よりなる金属化合物膜であり、第2の絶縁膜は、IV族元素を含んでいることを特徴とする。

[0067] 第6の半導体装置によると、金属化合物膜及び第2の絶縁膜は互いに4価の電子軌道を有する元素を有しているので、金属化合物膜と第2の絶縁膜との接合面において共有結合が形成されやすい。このため、金属化合物膜と第2の絶縁膜との密着性は飛躍的に向上している。また、第1の絶縁膜の上に第2の絶縁膜が形成されているので、絶縁膜同士の密着性は絶縁膜と金属膜及び金属化合物膜との密着性よりも高いので、金属化合物膜と第2の絶縁膜との密着性を向上させるために行われる第2の絶縁膜の選択の自由度が増大する。このため、半導体装置構造設計が容易になる。このようにして、基板上に形成された絶縁膜から金属配線まで全体として密着性が大きく向上する。したがって、密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い

半導体装置を実現することができる。

[0068] 本発明に係る第6の半導体装置において、金属化合物膜と金属配線との間には、1層以上の金属を含む膜が形成されていることが好ましい。

[0069] このようにすると、バリアメタル膜は金属化合物膜とその上に形成された1層以上の金属を含む膜よりなるので、バリアメタル膜全体として低抵抗化することができる。したがって、低抵抗で且つ密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を実現することができる。

[0070] 本発明に係る第6の半導体装置において、金属化合物膜を構成する金属は、高融点金属であることが好ましい。

[0071] このようにすると、埋め込み金属配線を形成した後にさらに上層の配線を形成する際に、およそ400℃前後の熱が加えられる場合であっても、金属化合物膜が変成することを防止できるので、信頼性の高い半導体装置を実現できる。

[0072] 本発明に係る第6の半導体装置において、金属配線は、銅又は銅合金よりなることが好ましい。

[0073] このようにすると、低価格で信頼性が高いと共に低抵抗である多層配線を備えた高性能の半導体装置を実現することができる。

[0074] 前記の目的を達成するために、本発明に係る第1の半導体装置の製造方法は、基板上の絶縁膜に凹部を形成する工程と、少なくとも前記凹部の壁面に沿うように、絶縁膜を構成する元素のうち少なくとも1つを含む金属化合物膜よりなるバリアメタル膜を形成する工程と、凹部を埋め込むように、バリアメタル膜の上に埋め込み金属配線を形成する工程とを備えることを特徴とする。

[0075] 第1の半導体装置の製造方法によると、金属化合物膜と絶縁膜との接合面に同一元素が存在する構成が実現されるので、金属化合物膜と絶縁膜との接合面に同一元素が存在しない場合に比べて、金属化合物膜と絶縁膜との密着性は飛躍的に向上する。このため、密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を製造することができる。

[0076] 前記の目的を達成するために、本発明に係る第2の半導体装置の製造方法は、基板上の第1の絶縁膜に凹部を形成する工程と、少なくとも凹部の壁面に沿うように、

第2の絶縁膜を形成する工程と、第2の絶縁膜の上に、第2の絶縁膜を構成する元素のうち少なくとも1つを含む金属化合物膜を形成する工程と、凹部を埋め込むように、金属化合物膜の上に埋め込み金属配線を形成する工程とを備えることを特徴とする。

- [0077] 第2の半導体装置の製造方法によると、金属化合物膜と第2の絶縁膜との接合面に同一元素が存在する構成が実現されるので、金属化合物膜と第2の絶縁膜との接合面に同一元素が存在しない場合に比べて、金属化合物膜と第2の絶縁膜との密着性は飛躍的に向上する。また、第1の絶縁膜の上に第2の絶縁膜を形成するため、絶縁膜同士の密着性は絶縁膜と金属膜及び金属化合物膜との密着性よりも高いので、金属化合物膜と第2の絶縁膜との密着性を向上させるために行なう第2の絶縁膜の選択の自由度を増大させることができる。このため、半導体装置構造設計が容易になる。このようにして、基板上に形成された絶縁膜から金属配線まで全体として密着性が大きく向上する。したがって、密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を製造することができる。
- [0078] 本発明に係る第1又は第2の半導体装置の製造方法において、バリアメタル膜を形成する工程は、金属化合物膜を形成した後に、金属化合物膜の上に1層以上の金属を含む膜をさらに形成して、金属化合物及び1層以上の金属を含む膜よりなるバリアメタル膜を形成する工程を含むことが好ましい。
- [0079] このようにすると、バリアメタル膜は金属化合物膜とその上に形成された1層以上の金属を含む膜よりなるので、バリアメタル膜全体を低抵抗化することができる。このため、低抵抗であって、且つ、密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を製造することができる。
- [0080] 本発明に係る第1又は第2の半導体装置の製造方法において、1層以上の金属を含む膜は、金属膜、金属化合物膜、又は金属膜及び金属化合物膜のうちから選ばれた膜を組み合わせる多層膜よりなることが好ましい。
- [0081] このようにすると、低抵抗なバリアメタルを構成できると共に、金属積層膜における膜間の密着性を向上させることができる。このため、低抵抗であって、且つ、密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を製造することができる。

- [0082] 本発明に係る第1又は第2の半導体装置の製造方法において、金属化合物膜は、金属窒化膜であり、金属化合物膜に隣接して形成されている絶縁膜は、窒素を含んでいることが好ましい。
- [0083] このようにすると、金属化合物膜と該金属化合物膜に隣接して形成されている絶縁膜との接合面に同一元素である窒素が存在するため、金属化合物膜と該金属化合物膜に隣接して形成されている絶縁膜との接合面に同一元素が存在しない場合に比べて、金属化合物膜と該金属化合物膜に隣接して形成されている絶縁膜との密着性は飛躍的に向上する。このため、低抵抗であって、且つ、密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を製造することができる。
- [0084] 本発明に係る第1又は第2の半導体装置の製造方法において、金属化合物膜は、金属酸化膜であり、金属化合物膜に隣接して形成されている絶縁膜は、酸素を含んでいることが好ましい。
- [0085] このようにすると、金属化合物膜と該金属化合物膜に隣接して形成されている絶縁膜との接合面に同一元素である酸素が存在するため、金属化合物膜と該金属化合物膜に隣接して形成されている絶縁膜との接合面に同一元素が存在しない場合に比べて、金属化合物膜と該金属化合物膜に隣接して形成されている絶縁膜との密着性は飛躍的に向上する。このため、低抵抗であって、且つ、密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を製造することができる。
- [0086] 本発明に係る第1又は第2の半導体装置の製造方法において、金属化合物膜は、金属炭化膜であり、金属化合物膜に隣接して形成されている絶縁膜は、炭素を含んでいることが好ましい。
- [0087] このようにすると、金属化合物膜と該金属化合物膜に隣接して形成されている絶縁膜との接合面に同一元素である炭素が存在するため、金属化合物膜と該金属化合物膜に隣接して形成されている絶縁膜との接合面に同一元素が存在しない場合に比べて、金属化合物膜と該金属化合物膜に隣接して形成されている絶縁膜との密着性は飛躍的に向上する。このため、低抵抗であって、且つ、密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を製造することができる。
- [0088] 本発明に係る第1又は第2の半導体装置の製造方法において、金属化合物膜は、

金属ケイ化膜であり、金属化合物膜に隣接して形成されている絶縁膜は、ケイ素を含んでいることが好ましい。

[0089] このようにすると、金属化合物膜と該金属化合物膜に隣接して形成されている絶縁膜との接合面に同一元素であるケイ素が存在するため、金属化合物膜と該金属化合物膜に隣接して形成されている絶縁膜との接合面に同一元素が存在しない場合に比べて、金属化合物膜と該金属化合物膜に隣接して形成されている絶縁膜との密着性は飛躍的に向上する。このため、低抵抗であって、且つ、密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を製造することができる。

[0090] 本発明に係る第1又は第2の半導体装置の製造方法において、金属化合物膜を構成する金属は、高融点金属であることが好ましい。

[0091] このようにすると、埋め込み金属配線を形成した後にさらに上層の配線を形成する際に、およそ400℃前後の熱が加えられる場合であっても、金属化合物膜が変成することを防止できるので、信頼性の高い半導体装置を製造できる。

[0092] 本発明に係る第1又は第2の半導体装置の製造方法において、金属配線は、銅又は銅合金よりなることが好ましい。

[0093] このようにすると、低価格で信頼性が高いと共に低抵抗である多層配線を備えた高性能半導体装置を製造することができる。

[0094] 本発明に係る第3の半導体装置の製造方法は、基板上のIV族元素を含む絶縁膜に凹部を形成する工程と、少なくとも凹部の壁面に沿うように、金属ケイ化膜又は金属炭化膜からなる金属化合物膜よりなるバリアメタル膜を形成する工程と、凹部を埋め込むように、バリアメタル膜の上に埋め込み金属配線を形成する工程とを備えることを特徴とする。

[0095] 第3の半導体装置の製造方法によると、金属化合物膜及び絶縁膜は互いに4価の電子軌道を有する元素を有しているので、金属化合物膜と絶縁膜との接合面において共有結合が形成されやすい。このため、金属化合物膜と絶縁膜との密着性は飛躍的に向上する。したがって、密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を製造することができる。

[0096] 本発明に係る第4の半導体装置の製造方法は、基板上の第1の絶縁膜に凹部を形

成する工程と、少なくとも凹部の壁面に沿うように、IV族元素を含む第2の絶縁膜を形成する工程と、第2の絶縁膜の上に、金属ケイ化膜又は金属炭化膜からなる金属化合物膜よりなるバリアメタル膜を形成する工程と、凹部を埋め込むように、バリアメタル膜の上に埋め込み金属配線を形成する工程とを備えることを特徴とする。

[0097] 第4の半導体装置の製造方法によると、金属化合物膜及び第2の絶縁膜は互いに4価の電子軌道を有する元素を有しているので、金属化合物膜と第2の絶縁膜との接合面において共有結合が形成されやすい。また、第1の絶縁膜の上に第2の絶縁膜を形成するため、絶縁膜同士の密着性は絶縁膜と金属膜及び金属化合物膜との密着性よりも高いので、金属化合物膜と第2の絶縁膜との密着性を向上させるために行なう第2の絶縁膜の選択の自由度を増大させることができる。このため、半導体装置構造設計が容易になる。このようにして、基板上に形成された絶縁膜から金属配線まで全体として密着性が大きく向上する。したがって、密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を製造することができる。

[0098] 本発明に係る第3又は第4の半導体装置の製造方法において、バリアメタル膜を形成する工程は、金属化合物膜を形成した後に、金属化合物膜の上に1層以上の金属を含む膜を形成して、金属化合物膜及び1層以上の金属を含む膜よりなるバリアメタル膜を形成する工程を含むことが好ましい。

[0099] このようにすると、バリアメタル膜は金属化合物膜とその上に形成された1層以上の金属を含む膜よりなるので、バリアメタル膜全体として低抵抗化することができる。したがって、低抵抗であって、且つ、密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を実現することができる。

[0100] 本発明に係る第3又は第4の半導体装置の製造方法において、金属化合物膜を構成する金属は、高融点金属であることが好ましい。

[0101] このようにすると、埋め込み金属配線を形成した後にさらに上層の配線を形成する際に、およそ400℃前後の熱が加えられる場合であっても、金属化合物膜が変成することを防止できるので、信頼性の高い半導体装置を製造できる。

[0102] 本発明に係る第3又は第4の半導体装置の製造方法において、金属配線は、銅又は銅合金よりなることが好ましい。

- [0103] このようにすると、低価格で信頼性が高いと共に低抵抗である多層配線を備えた高性能半導体装置を製造することができる。

#### 発明の効果

- [0104] 本発明に係る第1の半導体装置によると、金属化合物膜と絶縁膜との接合面に同一元素が存在するので、金属化合物膜と絶縁膜との接合面に同一元素が存在しない場合に比べて、金属化合物膜と絶縁膜との密着性は飛躍的に向上している。このため、密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を実現することができる。
- [0105] 本発明に係る第2の半導体装置によると、金属化合物膜と絶縁膜との接合面に同一元素が存在するので、金属化合物膜と絶縁膜との接合面に同一元素が存在しない場合に比べて、金属化合物膜と絶縁膜との密着性は飛躍的に向上している。また、バリアメタル膜は、金属化合物膜とその上に形成された1層以上の金属を含む膜よりなるので、バリアメタル膜全体として低抵抗化することができる。このため、低抵抗であって、且つ、密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を実現することができる。
- [0106] 本発明に係る第3の半導体装置によると、金属化合物膜及び絶縁膜は互いに4価の電子軌道を有する元素を有しているので、金属化合物膜と絶縁膜との接合面において共有結合が形成されやすい。このため、金属化合物膜と絶縁膜との密着性は飛躍的に向上する。したがって、密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を実現することができる。
- [0107] 本発明に係る第4の半導体装置によると、金属化合物膜及び絶縁膜は互いに4価の電子軌道を有する元素を有しているので、金属化合物膜と絶縁膜との接合面において共有結合が形成されやすい。このため、金属化合物膜と絶縁膜との密着性は飛躍的に向上する。また、バリアメタル膜は金属化合物膜とその上に形成された1層以上の金属を含む膜よりなるので、バリアメタル膜全体として低抵抗化することができる。したがって、低抵抗であって、且つ、密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を実現することができる。
- [0108] 本発明に係る第5の半導体装置によると、金属化合物膜と第2の絶縁膜との接合面



に同一元素が存在するので、金属化合物膜と第2の絶縁膜との接合面に同一元素が存在しない場合に比べて、金属化合物膜と絶縁膜との密着性は飛躍的に向上している。また、第1の絶縁膜の上に第2の絶縁膜が形成されているため、絶縁膜同士の密着性は絶縁膜と金属膜又は金属化合物膜との密着性よりも高いので、金属化合物膜と第2の絶縁膜との密着性を向上させる目的で行なう第2の絶縁膜の選択の自由度が増大する。このため、半導体装置構造設計が容易になる。このようにして、基板上に形成された絶縁膜から金属配線まで全体として密着性が大きく向上する。これにより、密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を実現することができる。

[0109] 本発明に係る第6の半導体装置によると、金属化合物膜及び第2の絶縁膜は互いに4価の電子軌道を有する元素を有しているので、金属化合物膜と第2の絶縁膜との接合面において共有結合が形成されやすい。このため、金属化合物膜と第2の絶縁膜との密着性は飛躍的に向上している。また、第1の絶縁膜の上に第2の絶縁膜が形成されているので、絶縁膜同士の密着性は絶縁膜と金属膜及び金属化合物膜との密着性よりも高いので、金属化合物膜と第2の絶縁膜との密着性を向上させるために行われる第2の絶縁膜の選択の自由度が増大する。このため、半導体装置構造設計が容易になる。このようにして、基板上に形成された絶縁膜から金属配線まで全体として密着性が大きく向上する。したがって、密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を実現することができる。

[0110] 本発明に係る第1の半導体装置の製造方法によると、金属化合物膜と絶縁膜との接合面に同一元素が存在する構成が実現されるので、金属化合物膜と絶縁膜との接合面に同一元素が存在しない場合に比べて、金属化合物膜と絶縁膜との密着性は飛躍的に向上する。このため、密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を製造することができる。

[0111] 本発明に係る第2の半導体装置の製造方法によると、金属化合物膜と第2の絶縁膜との接合面に同一元素が存在する構成が実現されるので、金属化合物膜と第2の絶縁膜との接合面に同一元素が存在しない場合に比べて、金属化合物膜と第2の絶縁膜との密着性は飛躍的に向上する。また、第1の絶縁膜の上に第2の絶縁膜を

形成するため、絶縁膜同士の密着性は絶縁膜と金属膜及び金属化合物膜との密着性よりも高いので、金属化合物膜と第2の絶縁膜との密着性を向上させるために行なう第2の絶縁膜の選択の自由度を増大させることができる。このため、半導体装置構造設計が容易になる。このようにして、基板上に形成された絶縁膜から金属配線まで全体として密着性が大きく向上する。したがって、密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を製造することができる。

[0112] 本発明に係る第3の半導体装置の製造方法によると、金属化合物膜及び絶縁膜は互いに4価の電子軌道を有する元素を有しているので、金属化合物膜と絶縁膜との接合面において共有結合が形成されやすい。このため、金属化合物膜と絶縁膜との密着性は飛躍的に向上する。したがって、密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を製造することができる。

[0113] 本発明に係る第4の半導体装置の製造方法によると、金属化合物膜及び第2の絶縁膜は互いに4価の電子軌道を有する元素を有しているので、金属化合物膜と第2の絶縁膜との接合面において共有結合が形成されやすい。また、第1の絶縁膜の上に第2の絶縁膜を形成するため、絶縁膜同士の密着性は絶縁膜と金属膜及び金属化合物膜との密着性よりも高いので、金属化合物膜と第2の絶縁膜との密着性を向上させるために行なう第2の絶縁膜の選択の自由度を増大させることができる。このため、半導体装置構造設計が容易になる。このようにして、基板上に形成された絶縁膜から金属配線まで全体として密着性が大きく向上する。したがって、密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を製造することができる。

#### 図面の簡単な説明

[0114] [図1]図1(a)は、第1の実施形態に係る半導体装置の構造を示す要部断面図であり、(b)は、第1の実施形態に係る半導体装置における第2の絶縁膜と金属化合物膜との構成を示す図である。

[図2]図2(a)は、第2の実施形態に係る半導体装置の構造を示す要部断面図であり、(b)は、第2の実施形態に係る半導体装置における第2の絶縁膜と金属化合物膜との構成を示す図である。

[図3]図3(a)は、第3の実施形態に係る半導体装置の構造を示す要部断面図であり

、(b)は、第3の実施形態に係る半導体装置における第2の絶縁膜と金属化合物膜との構成を示す図である。

[図4]図4(a)は、第4の実施形態に係る半導体装置の構造を示す要部断面図であり、(b)は、第4の実施形態に係る半導体装置における第2の絶縁膜と金属化合物膜との構成を示す図である。

[図5]図5は、第5の実施形態に係る半導体装置の構造を示す要部断面図である。

[図6]図6は、第6の実施形態に係る半導体装置の構造を示す要部断面図である。

[図7]図7(a)～(c)は、第7の実施形態に係る半導体装置の製造方法を示す要部工程断面図である。

[図8]図8(a)及び(b)は、第8の実施形態に係る半導体装置の製造方法を示す要部工程断面図である。

[図9]図9(a)及び(b)は、第8の実施形態に係る半導体装置の製造方法を示す要部工程断面図である。

[図10]図10(a)～(c)は、第9の実施形態に係る半導体装置の製造方法を示す要部工程断面図である。

[図11]図11は、従来の半導体装置の製造方法を説明するための構造断面図である。

。

## 符号の説明

- [0115]
- 1 シリコン基板
  - 2 第1の絶縁膜
  - 3 第1のバリアメタル膜
  - 4 第1の配線
  - 5 拡散防止膜
  - 6、6A、6B、6C、6D 第2の絶縁膜
  - 6a ビアホール
  - 6b 配線溝
  - 6c 凹部
  - 7 金属化合物

- 7A 金属窒化膜
- 7B 金属酸化膜
- 7C 金属炭化膜
- 7D 金属ケイ化膜
- 8 第2の配線
- 9 一層以上の金属を含む膜
- 10 第3の絶縁膜
- 101 シリコン基板
- 102 第1の絶縁膜
- 103 第1のバリアメタル膜
- 104 第1の配線
- 105 拡散防止膜
- 106 第2の絶縁膜
- 106a ビアホール
- 106b 配線溝
- 106c 凹部
- 107 バリアメタル膜
- 108 第2の配線

#### 発明を実施するための最良の形態

##### [0116] (第1の実施形態)

以下、本発明の第1の実施形態に係る半導体装置について、図1(a)及び(b)を参照しながら説明する。

[0117] 図1(a)は、本発明の第1の実施形態に係る半導体装置の構造を示す要部断面図である。

[0118] 図1(a)に示すように、シリコン基板1上には第1の絶縁膜2が形成されており、該第1の絶縁膜2中には第1のバリアメタル膜3を有する下層の銅配線である第1の配線4が形成されている。なお、シリコン基板1上には、図示していないトランジスタなどが形成されている。第1の絶縁膜2及び第1の配線4の上には、銅の拡散を防止する拡散

防止膜5及び第2の絶縁膜6が順に形成されている。このように、拡散防止膜5及び第2の絶縁膜6よりなる絶縁層が形成されている。

[0119] また、拡散防止膜5及び第2の絶縁膜6には、第1の配線4に到達するビアホール6aが形成されていると共に、第2の絶縁膜6には、ビアホール6aに連通する配線溝6bが形成されている。このように、ビアホール6a及び配線溝6bよりなるデュアルダマシン配線溝となる凹部6cが形成されている。なお、ビアホール6a及び配線溝6bは、周知のリソグラフィ技術、エッチング技術、アッシング技術、及び洗浄技術を用いて、デュアルダマシン配線溝(ビアホール6a及び配線溝6bよりなる凹部6c)を形成する工程によって形成できる。なお、一般に、ビアホール6aが先に形成された後に、配線溝(トレンチ)6bが形成される方法が良く用いられている。

[0120] また、凹部6cの壁面には、物理気相成長法(PVD:physical vapor deposition)などによって、第2のバリアメタル膜としての金属化合物膜7が形成されている。ここで、金属化合物膜7は、第2の絶縁膜6への銅の拡散を防止すると共に、後述する第2の配線8及び第2の絶縁膜6との密着性を向上させることを目的に形成されている。また、金属化合物膜7は、物理気相成長法の他に、原子層成長法(ALD:atomic layer deposition)、又は化学気相成長法(CVD:chemical vapor deposition)などの成膜方法により形成すればよい。

[0121] さらに、金属化合物膜7の上には、凹部6cに銅膜が埋め込まれることで形成された第2の配線8が形成されている。なお、第2の配線8の形成方法は以下の通りである。まず、金属化合物膜7の上に、物理気相成長法により、銅シード層を形成した後に、該銅シード層を種に用いた銅めっきにより、凹部6cを埋め込むと共に第2の絶縁膜6の表面全体を覆うように銅膜を形成する。続いて、化学機械研磨(CMP:chemical mechanical polishing)法により、銅膜における凹部6cの内側に形成されている部分以外で第2の絶縁膜6の上に形成されている部分と金属化合物膜7における凹部6cの内側の部分を除いた第2の絶縁膜6の上に形成されている部分を研磨除去する。これにより、第2の配線8及び第2の配線8の一部であるビアプラグの両方が同時に形成されている。なお、第2の配線8は、配線、ビアプラグ、又はこれら両方のいずれかであればよい。また、拡散防止膜5を形成してから化学機械研磨までの一連の動作

を繰り返して行なうことによって多層配線が形成される。なお、ここでは、デュアルダマシン法を用いた場合について説明したが、シングルダマシン法を用いる場合であってもよく、この場合は配線と配線の一部であるビアプラグとが交互に形成される。

[0122] 拡散防止膜5には、シリコン窒化膜、シリコン窒化炭化膜、シリコン炭化酸化膜、シリコン炭化膜、又はこれらの膜を組み合わせてなる積層膜などの絶縁膜を用いるとよい。拡散防止膜5は、第1の配線4の銅が第2の絶縁膜6中に拡散することを防止する働きを有する。なお、第2の絶縁膜6については後述する。

[0123] また、金属化合物膜7を構成する金属には、高融点金属を用いるとよい。これにより、第2の配線8を形成した後に、さらに上層配線を形成する工程において、およそ400℃前後の熱が加えられるが、本熱処理によって金属化合物膜7が変成することはない。したがって、信頼性の高い半導体装置を実現できる。

[0124] また、第2のバリアメタル膜としての金属化合物膜7を実際の半導体装置に組み込む場合、金属化合物膜7の膜厚は、65nm世代の半導体装置の場合であれば、数nm～30nmとなるように形成されるとよい。また、45nm世代の半導体装置の場合であれば、厚くてもおよそ15nm以下にする必要があると予測される。また、金属化合物膜7の成膜方法は用途に応じて任意に最適化するとよい。

[0125] また、第2の配線8の材料としては、前述の銅の他に、銀、金、又は白金などの低抵抗金属を用いるとよい。このようにすると、低抵抗の多層配線を形成できる。さらに好ましくは、第2の配線8の材料としては、銅又は銅合金（銅を主成分とし、他の金属を一部含有する合金）を用いるとよい。このようにすると、低コストで低抵抗の多層配線を有する半導体装置を実現できる。

[0126] ここで、本発明の第1の実施形態に係る半導体装置の特徴について説明する。

[0127] すなわち、第2のバリアメタル膜としての金属化合物膜7が、第2の絶縁膜6を構成する元素のうち少なくとも1つを含んでいる点に特徴がある。このようにすると、金属化合物膜7と第2の絶縁膜6との接合面に同一の元素が存在するので、金属化合物膜7と第2の絶縁膜6との接合面に同一の元素が存在しない場合に比べて、金属化合物膜7と第2の絶縁膜6との密着性が飛躍的に向上する。これは、金属化合物膜7と第2の絶縁膜6との接合面に同一の元素が存在することにより、金属化合物膜7を第

2の絶縁膜6の表面に形成する際に、金属化合物膜7と第2の絶縁膜6との界面での結合が増大する。これにより、金属化合物膜7と第2の絶縁膜6との界面は継ぎ目が無い状態に近づくので、密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を実現することができる。

- [0128] ここで、本実施形態においては、第2の絶縁膜6として、図1(b)に示す材料よりなる第2の絶縁膜6Aを用いるとよい。すなわち、第2の絶縁膜6Aとしては、シリコン窒化膜、シリコン酸化窒化膜、シリコ酸化炭化窒化膜、シリコン炭化窒化膜、又は窒素含有有機膜よりなる絶縁膜を用いることが好ましい。これらの膜は、化学気相成長法にて形成された膜であってもよいし、スピンドット法にて形成されたSOD (spin on dielectric) 膜であってもよい。
- [0129] この場合に、図1(b)に示すように、金属化合物膜7として金属窒化膜7Aを用いることが好ましい。
- [0130] このようにすると、金属化合物膜7としての金属窒化膜7Aと第2の絶縁膜6としての第2の絶縁膜6Aとの接合面に同一の元素である窒素が存在するので、金属化合物膜7と第2の絶縁膜6との接合面に同一の元素が存在しない場合に比べて、金属化合物膜7と第2の絶縁膜6との密着性が飛躍的に向上する。
- [0131] これにより、金属膜と絶縁膜とが接合する場合よりも密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を実現することができる。
- [0132] 具体的には、金属窒化膜7Aの金属には、チタニウム(Ti)、ジルコニウム(Zr)、ハフニウム(Hf)、タンタル(Ta)、ニオブウム(Nb)、タングステン(W)、バナジウム(V)、モリブデン(Mo)、ルテニウム(Ru)、オスミニウム(Os)、ロジウム(Rh)、イリジウム(Ir)、パラジウム(Pd)、又はプラチナ(Pt)を用いるとよい。
- [0133] さらに好ましくは、チタニウム(Ti)、ジルコニウム(Zr)、ハフニウム(Hf)、タンタル(Ta)、ニオブウム(Nb)、又はタングステン(W)などの金属を用いるとよい。このようにすると、窒化されても導電性が大きく失われないため、低抵抗の第2のバリアメタル膜を形成することができる。
- [0134] なお、図1(b)に示した金属窒化膜7Aの金属がさらに酸化、炭化、又はケイ化されている場合であっても、窒素を含む第2の絶縁膜6Aに対して、金属窒化膜7Aと同等

又はそれに準じた密着性を得ることができる。

[0135] 以上説明したように、本発明の第1の実施形態によると、第2のバリアメタル膜としての金属化合物膜7と第2の絶縁膜6との密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を実現することができる。

[0136] なお、本実施形態ではデュアルダマシン構造を採用した場合について説明したが、配線と配線の一部であるビアプラグが形成されるシングルダマシン構造を採用した場合であっても、前述と同様の効果を得ることができる。

[0137] (第2の実施形態)

以下、本発明の第2の実施形態に係る半導体装置について、図2(a)及び(b)を参照しながら説明する。

[0138] 図2(a)は、本発明の第2の実施形態に係る半導体装置の構造を示す要部断面図である。なお、第2の実施形態では、第1の実施形態と共通する部分はその説明を繰り返さないことにして、以下では、第1の実施形態と異なる点を中心に説明する。なお、図2(a)及び(b)では、図1(a)及び(b)における構成部分と共通する部分には同一の符号を付している。

[0139] 第2の実施形態と第1の実施形態とが異なる点は、第2の絶縁膜6及び金属化合物膜7として用いる材料とその材料の組み合わせである。

[0140] すなわち、具体的には、図2(a)及び(b)に示すように、第2の実施形態に用いる第2の絶縁膜6Bとして、シリコン酸化膜、シリコン酸化フッ化膜、シリコン酸化炭化膜、シリコン酸化窒化膜、シリコン酸化炭化窒化膜、又は酸素を含有する有機膜よりなる絶縁膜を用いる。これらの膜は、化学気相成長法にて形成された膜であってもよいし、スピンドーピング法にて形成されたSOD (spin on dielectric) 膜であってもよい。

[0141] この場合に、図2(b)に示すように、金属化合物膜7として金属酸化膜7Bを用いることが好ましい。

[0142] このようにすると、金属化合物膜7としての金属酸化膜7Bと第2の絶縁膜6としての第2の絶縁膜6Bとの接合面に同一の元素である酸素が存在するので、金属化合物膜7と第2の絶縁膜6との接合面に同一の元素が存在しない場合に比べて、金属化合物膜7と第2の絶縁膜6との密着性が飛躍的に向上する。



- [0143] これにより、金属膜と絶縁膜とが接合する場合よりも密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を実現することができる。
- [0144] また、金属酸化膜7Bの金属には、チタニウム(Ti)、ジルコニウム(Zr)、ハフニウム(Hf)、タンタル(Ta)、ニオブウム(Nb)、タングステン(W)、バナジウム(V)、モリブデン(Mo)、ルテニウム(Ru)、オスミニウム(Os)、ロジウム(Rh)、イリジウム(Ir)、パラジウム(Pd)、又はプラチナ(Pt)を用いるとよい。
- [0145] さらに好ましくは、バナジウム(V)、モリブデン(Mo)、ルテニウム(Ru)、オスミニウム(Os)、ロジウム(Rh)、イリジウム(Ir)、パラジウム(Pd)、又はプラチナ(Pt)などを用いるとよい。このようにすると、酸化されても導電性が大きく失われない(比抵抗が小さい)ため、低抵抗の第2のバリアメタル膜を形成することができる。
- [0146] なお、図2(b)に示した金属酸化膜7Bの金属がさらに窒化、炭化、又はケイ化されている場合であっても、酸素を含む第2の絶縁膜6Bに対して、金属酸化膜7Bと同等又はそれに準じた密着性を得ることができる。
- [0147] 以上説明したように、本発明の第2の実施形態によると、第2のバリアメタル膜としての金属化合物膜7と第2の絶縁膜6との密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を実現することができる。
- [0148] (第3の実施形態)
- 以下、本発明の第3の実施形態に係る半導体装置について、図3(a)及び(b)を参照しながら説明する。
- [0149] 図3(a)は、本発明の第3の実施形態に係る半導体装置の構造を示す要部断面図である。なお、第3の実施形態では、第1の実施形態と共通する部分はその説明を繰り返さないことにして、以下では、第1の実施形態と異なる点を中心に説明する。なお、図3(a)及び(b)では、図1(a)及び(b)における構成部分と共通する部分には同一の符号を付している。
- [0150] 第3の実施形態と第1の実施形態とが異なる点は、第2の絶縁膜6及び金属化合物膜7として用いる材料とその材料の組み合わせである。
- [0151] すなわち、具体的には、図3(a)及び(b)に示すように、第3の実施形態に用いる第2の絶縁膜6Cとして、シリコン酸化膜、シリコン酸化フッ化膜、シリコン酸化炭化膜、

シリコン炭化酸化膜、シリコン酸化炭化窒化膜、シリコン炭化膜、シリコン炭化窒化膜、シリコン窒化膜、又は有機膜よりなる絶縁膜を用いる。これらの膜は、化学気相成長法にて形成された膜であってもよいし、スピン塗布法にて形成されたSOD (spin on dielectric) 膜であってもよい。

[0152] この場合に、図3(b)に示すように、金属化合物膜7として金属炭化膜7Cを用いることが好ましい。

[0153] このようにすると、金属炭化膜7Cには炭素が存在し、第2の絶縁膜6Cには有機膜よりなる場合を除いてシリコンが存在する。炭素とシリコンとは、互いに4価の電子軌道を有する元素であるため、他の元素とは異なって金属膜の成膜時に共有結合を形成しやすいので、金属炭化膜7Cと第2の絶縁膜6Cとの密着性が増大する。

[0154] さらに好ましくは、金属化合物膜7として金属炭化膜7Cを用いる場合に、第2の絶縁膜6Cとして、シリコン酸化炭化膜、シリコン炭化酸化膜、シリコン酸化炭化窒化膜、シリコン炭化膜、シリコン炭化窒化膜、又は有機膜よりなる絶縁膜を用いるとよい。

[0155] このようにすると、前述した密着性を向上させる因子に加えて、金属化合物膜7としての金属炭化膜7Cと第2の絶縁膜6としての第2の絶縁膜6Cとの接合面に同一元素である炭素が存在するので、金属化合物膜7と第2の絶縁膜6との接合面に同一の元素が存在しない場合に比べて、金属化合物膜7と第2の絶縁膜6との密着性が飛躍的に向上する。また、第2の絶縁膜6Cが有機膜よりなる場合には、有機膜は炭素を主成分としているため、金属化合物膜7としての金属炭化膜7Cと第2の絶縁膜6としての第2の絶縁膜6Cとの接合面に同一の元素である炭素が存在するので、金属炭化膜7Cと第2の絶縁膜6Cとの密着性が増大する。

[0156] これにより、金属膜と絶縁膜とが接合する場合よりも密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を実現することができる。

[0157] また、金属炭化膜7Cの金属には、チタニウム(Ti)、ジルコニウム(Zr)、ハフニウム(Hf)、タンタル(Ta)、ニオブウム(Nb)、タングステン(W)、バナジウム(V)、モリブデン(Mo)、ルテニウム(Ru)、オスミニウム(Os)、ロジウム(Rh)、イリジウム(Ir)、パラジウム(Pd)、又はプラチナ(Pt)を用いるとよい。

[0158] さらに好ましくは、炭化されても比抵抗の小さな金属を用いるとよい。

[0159] なお、図3(b)に示した金属窒化膜7Cの金属がさらに酸化、窒化、又はケイ化されている場合であっても、炭素を含む第2の絶縁膜6Cに対して、金属炭化膜7Cと同等又はそれに準じた密着性を得ることができる。

[0160] 以上説明したように、本発明の第3の実施形態によると、第2のバリアメタル膜としての金属化合物膜7と第2の絶縁膜6との密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を実現することができる。

[0161] (第4の実施形態)

以下、本発明の第4の実施形態に係る半導体装置について、図4(a)及び(b)を参照しながら説明する。

[0162] 図4(a)は、本発明の第4の実施形態に係る半導体装置の構造を示す要部断面図である。なお、第4の実施形態では、第1の実施形態と共通する部分はその説明を繰り返さないことにして、以下では、第1の実施形態と異なる点を中心に説明する。なお、図4(a)及び(b)では、図1(a)及び(b)における構成部分と共通する部分には同一の符号を付している。

[0163] 図4(a)及び(b)に示すように、第4の実施形態に用いる第2の絶縁膜6Dとして、シリコン酸化膜、シリコン酸化フッ化膜、シリコン酸化炭化膜、シリコン炭化酸化膜、シリコン酸化炭化窒化膜、シリコン炭化膜、シリコン炭化窒化膜、シリコン窒化膜、有機膜よりなる絶縁膜、又はシリコンを含有する有機膜よりなる絶縁膜を用いる。これらの膜は、化学気相成長法にて形成された膜であってもよいし、スピン塗布法にて形成されたSOD(spin on dielectric)膜であってもよい。

[0164] この場合に、図4(b)に示すように、金属化合物膜7として金属ケイ化膜7Dを用いることが好ましい。

[0165] このようにすると、金属ケイ化膜7Dにはシリコンが存在し、第2の絶縁膜6Dには有機膜よりなる場合(シリコンを含有しない有機膜よりなる絶縁膜)を除いてシリコンが存在する。したがって、金属化合物膜7としての金属ケイ化膜7Dと第2の絶縁膜6としての第2の絶縁膜6Dとの接合面に同一元素であるケイ素(シリコン)が存在するので、金属化合物膜7と第2の絶縁膜6との接合面に同一の元素が存在しない場合に比べて、金属化合物膜7と第2の絶縁膜6との密着性が飛躍的に向上する。また、シリコン

原子同士は共有結合を形成しやすいために、金属化合物膜7と第2の絶縁膜6との密着性はさらに向上する。また、第2の絶縁膜6Dが有機膜よりなる場合(シリコンを含有しない有機膜よりなる絶縁膜)には、有機膜は炭素を主成分としているため、炭素とシリコンとは、互いに4価の電子軌道を有する元素であり、共有結合が形成されやすい。このため、金属膜と絶縁膜とが接合する場合よりも密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を実現できる。

[0166] また、金属ケイ化膜7Dの金属には、チタニウム(Ti)、ジルコニウム(Zr)、ハフニウム(Hf)、タンタル(Ta)、ニオブウム(Nb)、タングステン(W)、バナジウム(V)、モリブデン(Mo)、ルテニウム(Ru)、オスミウム(Os)、ロジウム(Rh)、イリジウム(Ir)、パラジウム(Pd)、又はプラチナ(Pt)を用いるとよい。

[0167] さらに好ましくは、ケイ化されても比抵抗の小さな金属を用いるとよい。

[0168] なお、図4(b)に示した金属窒化膜7Dの金属がさらに、炭化、窒化、又は酸化されている場合であっても、ケイ素を含む第2の絶縁膜6Dに対して、金属ケイ化膜7Dと同等又はそれに準じた密着性を得ることができる。

[0169] 以上説明したように、本発明の第4の実施形態によると、第2のバリアメタル膜としての金属化合物膜7と第2の絶縁膜6との密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を実現することができる。

[0170] (第5の実施形態)

以下、本発明の第5の実施形態に係る半導体装置について、図5を参照しながら説明する。なお、第5の実施形態では、第1の実施形態と共通する部分はその説明を繰り返さないことにし、以下では、第1の実施形態と異なる点を中心に説明する。なお、図5では、図1(a)における構成部分と共通する部分には同一の符号を付している。

[0171] 図5に示すように、第5の実施形態に係る半導体装置は、第2のバリアメタル膜として、金属化合物膜7と、該金属化合物膜7の上に形成された1層以上の金属を含む膜9とを備えている点に特徴があり、この点において、以上の第1～第4の実施形態と異なっている。

[0172] ここで、1層以上の金属を含む膜9は、金属膜、金属化合物膜、又は金属膜及び金

属化合物膜の中から選ばれた膜が組み合わされてなる多層膜であることが好ましい。また、1以上の金属を含む膜9を構成するこれらの金属は、高融点金属が適していることはいうまでもない。

[0173] このように、第5の実施形態によると、金属膜よりも相対的に高い比抵抗を有する金属化合物膜7の表面に、該金属化合物膜7よりも低抵抗な金属膜、又は、金属膜及び金属化合物膜よりなる多層膜を形成することにより、金属化合物膜の単層膜を第2のバリアメタル膜として用いる第1～第4の実施形態に比べて、第5の実施形態における第2のバリアメタル膜は低抵抗のバリアメタル膜を形成することができる。

[0174] ここで、1層以上の金属を含む膜9を構成する金属には、チタニウム(Ti)、ジルコニウム(Zr)、ハフニウム(Hf)、タンタル(Ta)、ニオブウム(Nb)、タングステン(W)、バナジウム(V)、モリブデン(Mo)、ルテニウム(Ru)、オスミウム(Os)、ロジウム(Rh)、イリジウム(Ir)、パラジウム(Pd)、又はプラチナ(Pt)を用いるとよい。例えば、タンタルの比抵抗は $13(\mu\Omega\cdot\text{cm})$ であり、ルテニウムの比抵抗は $7.5(\mu\Omega\cdot\text{cm})$ であり、イリジウムの比抵抗は $6.5(\mu\Omega\cdot\text{cm})$ である。

[0175] また、1層以上の金属を含む膜9を構成する金属化合物膜として金属酸化膜を用いる場合、その金属には、バナジウム(V)、モリブデン(Mo)、ルテニウム(Ru)、オスミウム(Os)、ロジウム(Rh)、イリジウム(Ir)、パラジウム(Pd)、又はプラチナ(Pt)などを用いるとよい。例えば、ルテニウム酸化膜の比抵抗は $35(\mu\Omega\cdot\text{cm})$ であり、イリジウム酸化膜の比抵抗は $30(\mu\Omega\cdot\text{cm})$ である。これらの金属を用いると、酸化されても導電性を失わない(比抵抗が小さい)ので、低抵抗の第2のバリアメタル膜を形成することができる。

[0176] また、1層以上の金属を含む膜9を構成する金属化合物膜として金属窒化膜を用いる場合、その金属には、チタニウム(Ti)、タンタル(Ta)ジルコニウム(Zr)、ニオブウム(Nb)、ハフニウム(Hf)、又はタングステン(W)などを用いるとよい。例えば、チタン窒化膜の比抵抗は $25(\mu\Omega\cdot\text{cm})$ であり、タンタル窒化膜の比抵抗は $130(\mu\Omega\cdot\text{cm})$ である。これらの金属を用いると、金属窒化膜の比抵抗が小さいので、低抵抗の第2のバリアメタル膜を形成することができる。

[0177] 本実施形態において、金属化合物膜7が金属窒化膜よりなる場合には、第2の絶

縁膜6として第1の実施形態に示した第2の絶縁膜6Aを用いることにより、第2のバリアメタル膜としての金属化合物膜7と第2の絶縁膜6との密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を実現することができる。

[0178] 本実施形態において、金属化合物膜7が金属酸化膜の場合は、第2の絶縁膜6として第2の実施形態に示した第2の絶縁膜6Bを用いることにより、第2のバリアメタル膜としての金属化合物膜7と第2の絶縁膜6との密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を実現することができる。

[0179] 本実施形態において、金属化合物膜7が金属炭化膜の場合は、第2の絶縁膜6として第3の実施形態に示した第2の絶縁膜6Cを用いることにより、第2のバリアメタル膜としての金属化合物膜7と第2の絶縁膜6との密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を実現することができる。

[0180] 本実施形態において、金属化合物膜7が金属ケイ化膜の場合は、第2の絶縁膜6として第4の実施形態に示した第2の絶縁膜6Dを用いることにより、第2のバリアメタル膜としての金属化合物膜7と第2の絶縁膜6との密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を実現することができる。

[0181] 以上説明したように、本発明の第5の実施形態によると、低抵抗であって、且つ、密着性が高いバリアメタル膜を有する多層配線を具備した信頼性の高い半導体装置を実現することができる。

[0182] (第6の実施形態)

以下、本発明の第6の実施形態に係る半導体装置について、図6を参照しながら説明する。なお、第6の実施形態では、第5の実施形態と共通する部分はその説明を繰り返さないことにして、以下では、第5の実施形態と異なる点を中心に説明する。なお、図6では、図5における構成部分と共通する部分には同一の符号を付している。

[0183] 図6に示すように、第6の実施形態に係る半導体装置は、金属化合物膜7と第2の絶縁膜6との間に第3の絶縁膜10が形成されていると共に、金属化合物膜7が第3の絶縁膜10を構成する元素を少なくとも1つを含んでいる点に特徴があり、この点において、第5の実施形態と異なっている。

[0184] このように、第2の絶縁膜6と第3の絶縁膜10とは絶縁膜同士であるため、金属と絶

縁膜との組み合わせ、又は金属化合物膜と絶縁膜との組み合わせよりも、第2の絶縁膜6と第3の絶縁膜10とは密着性が高い。このため、密着性を向上させるために選択する第3の絶縁膜10と金属化合物膜7との組み合わせの自由度を増大させることができる。

[0185] したがって、前述した第1～第4の実施形態で示した第2の絶縁膜6と金属化合物膜7との組み合わせと同様の組み合わせを実現するためには、第2バリアメタル膜を構成する金属化合物膜7に適合する絶縁膜を第3の絶縁膜10として決定すればよく、半導体装置の設計の自由度を増大させることができる。

[0186] なお、図6では1層以上の金属を含む膜9が形成されている構成が示されているが、1以上の金属を含む膜9は形成されてない場合であってもよい。

[0187] 以上のように、前述した第1～第4の実施形態で示した第2の絶縁膜6と金属化合物膜7との組み合わせと同様の組み合わせを満足するように、第3の絶縁膜10を選択することにより、低抵抗であって、且つ、密着性が高いバリアメタルを有する多層配線を具備した信頼性の高い半導体装置を実現することができる。

[0188] (第7の実施形態)

以下、本発明の第7の実施形態に係る半導体装置の製造方法について、図7(a)～(c)を参照しながら説明する。

[0189] 図7(a)～(c)は、本発明の第7の実施形態に係る半導体装置の製造方法を示す要部工程断面図である。

[0190] 図7(a)に示すように、シリコン基板1上に第1の絶縁膜2を形成した後に、該第1の絶縁膜2中に第1のバリアメタル膜3を有する下層の銅配線である第1の配線4を形成する。なお、シリコン基板1上には、図示していないトランジスタなどが形成されている。第1の絶縁膜2及び第1の配線4の上に、銅の拡散を防止する拡散防止膜5及び第2の絶縁膜6を順に形成する。このようにして、拡散防止膜5及び第2の絶縁膜6よりなる絶縁層を形成する。

[0191] 次に、拡散防止膜5及び第2の絶縁膜6に、第1の配線4に到達するビアホール6aを形成すると共に、第2の絶縁膜6に、ビアホール6aに連通する配線溝6bを形成する。このようにして、ビアホール6a及び配線溝6bよりなるデュアルダマシン配線溝とな

る凹部6cを形成する。なお、ビアホール6a及び配線溝6bは、周知のリソグラフィ技術、エッチング技術、アッシング技術、及び洗浄技術を用いて、デュアルダマシン配線溝(ビアホール6a及び配線溝6bよりなる凹部6c)を形成する工程によって形成できる。なお、一般に、ビアホール6aを先に形成した後に、配線溝(トレンチ)6bを形成する方法が良く用いられる。

[0192] 次に、図7(b)に示すように、凹部6cの内部を含む第2の絶縁膜6の上に、物理気相成長法(PVD:physical vapor deposition)などによって、第2のバリア金属膜としての金属化合物膜7を形成する。ここで、金属化合物膜7は、第2の絶縁膜6を構成する元素の少なくとも1つを含む膜よりなる。また、金属化合物膜7は、第2の絶縁膜6への銅の拡散を防止すると共に、第2の絶縁膜6及び後述する第2の配線8との密着性を向上させることを目的に形成されている。また、金属化合物膜7は、物理気相成長法の他に、原子層成長法(ALD:atomic layer deposition)、又は化学気相成長法(CVD:chemical vapor deposition)などの成膜方法により形成すればよい。

[0193] 次に、図7(c)に示すように、金属化合物膜7の上に、物理気相成長法により、銅シード層を形成した後に、該銅シード層を種に用いた銅めっきにより、凹部6cを埋め込むと共に第2の絶縁膜6の表面全体を覆うように銅膜を形成する。なお、銅シード層は必ずしも形成しなくともよい。続いて、化学機械研磨(CMP:chemical mechanical polishing)法により、銅膜における凹部6cの内側に形成されている部分以外で第2の絶縁膜6の上に形成されている部分と、金属化合物膜7における凹部6cの内側の部分以外で第2の絶縁膜6の上に形成されている部分を研磨除去する。これにより、図7(c)に示すように、第2の配線8及び第2の配線8の一部であるビアプラグの両方を同時に形成する。なお、第2の配線8は、配線、ビアプラグ、又はこれら両方のいずれかであればよい。また、拡散防止膜5を形成してから化学機械研磨までの一連の動作を繰り返して行なうことによって多層配線が形成される。なお、ここでは、デュアルダマシン法を用いた場合について説明したが、シングルダマシン法を用いる場合であってもよく、この場合は配線と配線の一部であるビアプラグとが交互に形成される。

[0194] 拡散防止膜5には、シリコン窒化膜、シリコン窒化炭化膜、シリコン炭化酸化膜、シリコン炭化膜、又はこれらの膜を組み合わせる積層膜などの絶縁膜を用いるとよい。



。拡散防止膜5は、第1の配線4の銅が第2の絶縁膜6中に拡散することを防止する働きを有する。

- [0195] 第2の絶縁膜6には、シリコン酸化膜、シリコン酸化フッ化膜、シリコン酸化炭化膜、シリコン炭化酸化膜、シリコン酸化炭化窒化膜、シリコン炭化膜、シリコン炭化窒化膜、シリコン窒化膜、又は有機膜よりなる絶縁膜を用いる。これらの膜は、化学気相成長法にて形成された膜であってもよいし、スピンドーピング法にて形成されたSOD (spin on dielectric) 膜であってもよい。
- [0196] また、金属化合物膜7を構成する金属には、高融点金属を用いるとよい。これにより、第2の配線8を形成した後に、さらに上層配線を形成する工程において、およそ400℃前後の熱が加えられるが、本熱処理によって金属化合物膜7が変成することはない。したがって、信頼性の高い半導体装置を実現できる。
- [0197] また、第2のバリアメタル膜としての金属化合物膜7を実際の半導体装置に組み込む場合、金属化合物膜7の膜厚は、65nm世代の半導体装置の場合であれば、数nm～30nmとなるように形成されるとよい。また、45nm世代の半導体装置の場合であれば、厚くてもおよそ15nm以下にする必要があると予測される。また、金属化合物膜7の成膜方法は用途に応じて任意に最適化するとよい。
- [0198] また、第2の配線8の材料としては、前述の銅の他に、銀、金、又は白金などの低抵抗金属を用いるとよい。このようにすると、低抵抗の多層配線を形成できる。さらに好ましくは、第2の配線8の材料としては、銅又は銅合金(銅を主成分とし、他の金属を一部含有する合金)を用いるとよい。このようにすると、低コストで低抵抗の多層配線を有する半導体装置を製造できる。
- [0199] 第7の実施形態に係る半導体装置の製造方法では、第2の絶縁膜6を構成する元素の少なくとも1つを含む膜よりなる金属化合物膜7を形成している点に特徴がある。このようにすると、金属化合物膜7と第2の絶縁膜6との接合面には同一元素が存在するので、金属化合物膜7と第2の絶縁膜6との接合面に同一の元素が存在しない場合に比べて、金属化合物膜7と第2の絶縁膜6との密着性が飛躍的に向上する。これは、金属化合物膜7を第2の絶縁膜6の表面に形成する際に、同一元素が存在することにより界面での結合が増大するので、界面が継ぎ目の無い状態に近づくからで

ある。したがって、密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を製造することができる。

[0200] 本実施形態において、金属化合物膜7が金属窒化膜よりなる場合には、第2の絶縁膜6として第1の実施形態に示した第2の絶縁膜6Aを用いることにより、第2のバリアメタル膜としての金属化合物膜7と第2の絶縁膜6との密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を実現することができる。

[0201] 本実施形態において、金属化合物膜7が金属酸化膜の場合は、第2の絶縁膜6として第2の実施形態に示した第2の絶縁膜6Bを用いることにより、第2のバリアメタル膜としての金属化合物膜7と第2の絶縁膜6との密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を実現することができる。

[0202] 本実施形態において、金属化合物膜7が金属炭化膜の場合は、第2の絶縁膜6として第3の実施形態に示した第2の絶縁膜6Cを用いることにより、第2のバリアメタル膜としての金属化合物膜7と第2の絶縁膜6との密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を実現することができる。

[0203] 本実施形態において、金属化合物膜7が金属ケイ化膜の場合は、第2の絶縁膜6として第4の実施形態に示した第2の絶縁膜6Dを用いることにより、第2のバリアメタル膜としての金属化合物膜7と第2の絶縁膜6との密着性が高い多層配線を有する信頼性の高い半導体装置を実現することができる。

[0204] 以上説明したように、本発明の第7の実施形態により、低抵抗であって、且つ、密着性が高いバリアメタルを有する多層配線を具備した信頼性の高い半導体装置を製造することができる。

[0205] なお、本実施形態ではデュアルダマシン構造を採用した場合について説明したが、配線と配線の一部であるビアプラグが形成されるシングルダマシン構造を採用した場合であっても、前述と同様の効果を得ることができる。

[0206] (第8の実施形態)

以下、本発明の第8の実施形態に係る半導体装置の製造方法について、図8(a)及び(b)並びに図9(a)及び(b)を参照しながら説明する。

[0207] 図8(a)及び(b)並びに図9(a)及び(b)は、本発明の第8の実施形態に係る半導体

装置の製造方法を示す要部工程断面図である。なお、図8(a)及び(b)並びに図9(a)及び(b)では、前述した図7(a)～(c)における構成部分と共通する部分には同一の符号を付している。

[0208] 図8(a)に示すように、シリコン基板1上に第1の絶縁膜2を形成した後に、該第1の絶縁膜2中に第1のバリアメタル膜3を有する下層の銅配線である第1の配線4を形成する。なお、シリコン基板1上には、図示していないトランジスタなどが形成されている。第1の絶縁膜2及び第1の配線4の上に、銅の拡散を防止する拡散防止膜5及び第2の絶縁膜6を順に形成する。このようにして、拡散防止膜5及び第2の絶縁膜6よりなる絶縁層を形成する。

[0209] 次に、拡散防止膜5及び第2の絶縁膜6に、第1の配線4に到達するビアホール6aを形成すると共に、第2の絶縁膜6に、ビアホール6aに連通する配線溝6bを形成する。このようにして、ビアホール6a及び配線溝6bよりなるデュアルダマシン配線溝となる凹部6cを形成する。なお、ビアホール6a及び配線溝6bは、周知のリソグラフィ技術、エッチング技術、アッシング技術、及び洗浄技術を用いて、デュアルダマシン配線溝(ビアホール6a及び配線溝6bよりなる凹部6c)を形成する工程によって形成できる。なお、一般に、ビアホール6aを先に形成した後に、配線溝(トレンチ)6bを形成する方法が良く用いられる。

[0210] 次に、図8(b)に示すように、凹部6cの内部を含む第2の絶縁膜6の上に、物理気相成長法(PVD:physical vapor deposition)などによって、第2のバリアメタル膜としての金属化合物膜7を形成する。ここで、金属化合物膜7は、第2の絶縁膜6を構成する元素の少なくとも1つを含む膜よりなる。また、金属化合物膜7は、第2の絶縁膜6への銅の拡散を防止すると共に、第2の絶縁膜6及び後述する第2の配線8との密着性を向上させることを目的に形成されている。また、金属化合物膜7は、物理気相成長法の他に、原子層成長法(ALD:atomic layer deposition)、又は化学気相成長法(CVD:chemical vapor deposition)などの成膜方法により形成すればよい。

[0211] 次に、図9(a)に示すように、金属化合物膜7の上に、さらに一層以上の金属を含む膜9を形成する。

[0212] 次に、図9(b)に示すように、一層以上の金属を含む膜9の上に、物理気相成長法

により、銅シード層を形成した後に、該銅シード層を種に用いた銅めっきにより、凹部6cを埋め込むと共に一層以上の金属を含む膜9の表面全体を覆うように銅膜を形成する。なお、銅シード層は必ずしも形成しなくともよい。続いて、化学機械研磨(CMP: chemical mechanical polishing)法により、銅膜における凹部6cの内側に形成されている部分以外で一層以上の金属を含む膜9の上に形成されている部分と、金属化合物膜7及び一層以上の金属を含む膜9における凹部6cの内側の部分以外で第2の絶縁膜6の上に形成されている部分を研磨除去する。これにより、図9(b)に示すように、第2の配線8及び第2の配線8の一部であるビアプラグの両方を同時に形成する。なお、第2の配線8は、配線、ビアプラグ、又はこれら両方のいずれかであればよい。また、拡散防止膜5を形成してから化学機械研磨までの一連の動作を繰り返して行なうことによって多層配線が形成される。なお、ここでは、デュアルダマシン法を用いた場合について説明したが、シングルダマシン法を用いる場合であってもよく、この場合は配線と配線の一部であるビアプラグとが交互に形成される。

[0213] ここで、本発明の第8の実施形態に係る半導体装置の製造方法の特徴について、前述した第7の実施形態と異なる点を中心に説明する。

[0214] 本発明の第8の実施形態に係る半導体装置の製造方法は、金属化合物膜7を形成した後に、一層以上の金属を含む膜9を形成する工程を備えており、この点において、前述した第7の実施形態に係る半導体装置の製造方法と異なっている。

[0215] 一層以上の金属を含む膜9は、金属膜、金属化合物膜、又は金属膜及び金属化合物膜の中から選ばれた膜が組み合わされてなる多層膜であることが好ましい。また、1以上の金属を含む膜9を構成するこれらの金属は、高融点金属が適していることはいうまでもない。

[0216] このように、第8の実施形態によると、金属膜よりも相対的に高い比抵抗を有する金属化合物膜7の表面に、該金属化合物膜7よりも低抵抗な金属膜、又は、金属膜及び金属化合物膜よりなる多層膜を形成することにより、金属化合物膜の単層膜を第2のバリアメタル膜として用いる第7の実施形態に比べて、第8の実施形態における第2のバリアメタル膜は低抵抗のバリアメタル膜を形成することができる。

[0217] ここで、1層以上の金属を含む膜9を構成する金属には、チタニウム(Ti)、ジルコニ

ウム(Zr)、ハフニウム(Hf)、タンタル(Ta)、ニオブウム(Nb)、タングステン(W)、バナジウム(V)、モリブデン(Mo)、ルテニウム(Ru)、オスミニウム(Os)、ロジウム(Rh)、イリジウム(Ir)、パラジウム(Pd)、又はプラチナ(Pt)を用いるとよい。例えば、タンタルの比抵抗は $13(\mu\Omega\cdot\text{cm})$ であり、ルテニウムの比抵抗は $7.5(\mu\Omega\cdot\text{cm})$ であり、イリジウムの比抵抗は $6.5(\mu\Omega\cdot\text{cm})$ である。

[0218] また、1層以上の金属を含む膜9を構成する金属化合物膜として金属酸化膜を用いる場合、その金属には、バナジウム(V)、モリブデン(Mo)、ルテニウム(Ru)、オスミニウム(Os)、ロジウム(Rh)、イリジウム(Ir)、パラジウム(Pd)、又はプラチナ(Pt)などを用いるとよい。例えば、ルテニウム酸化膜の比抵抗は $35(\mu\Omega\cdot\text{cm})$ であり、イリジウム酸化膜の比抵抗は $30(\mu\Omega\cdot\text{cm})$ である。これらの金属を用いると、酸化されても導電性を失わない(比抵抗が小さい)ので、低抵抗の第2のバリアメタル膜を形成することができる。

[0219] また、1層以上の金属を含む膜9を構成する金属化合物膜として金属窒化膜を用いる場合、その金属には、チタニウム(Ti)、タンタル(Ta)ジルコニウム(Zr)、ニオブウム(Nb)、ハフニウム(Hf)、又はタングステン(W)などを用いるとよい。例えば、チタン窒化膜の比抵抗は $25(\mu\Omega\cdot\text{cm})$ であり、タンタル窒化膜の比抵抗は $130(\mu\Omega\cdot\text{cm})$ である。これらの金属を用いると、金属窒化膜の比抵抗が小さいので、低抵抗の第2のバリアメタル膜を形成することができる。

[0220] なお、比抵抗が小さな金属化合物膜であれば、一層以上の金属を含む膜9を構成する金属化合物膜として使用可能であり、金属炭化膜又は金属ケイ化膜などを用いてもよい。さらに、比抵抗が小さな金属化合物であれば他の金属化合物膜であっても一層以上の金属を含む膜9を構成する金属化合物膜として使用できる。

[0221] また、前述の金属と金属化合物膜との組み合わせによる積層膜を用いることにより、銅の拡散防止効果と低抵抗化とを同時に実現することができるので、第2のバリアメタル膜6として効果的である。もちろん、一層以上の金属を含む膜9内部における密着性、及び一層以上の金属を含む膜9と金属化合物膜7との密着性が向上するように、金属と一層以上の金属を含む膜9としての金属化合物膜との組み合わせによる積層膜を形成するとさらに好ましい。

[0222] また、金属化合物膜7と第2の絶縁膜6との組み合わせ及びその効果については、第1～第4の実施形態で示した通りである。

[0223] したがって、本実施形態によると、金属膜よりも相対的に高い比抵抗を有する金属化合物膜7の表面に、金属化合物膜7よりも低抵抗な金属膜又は金属膜と金属化合物膜とからなる多層膜を形成することにより、第2のバリアメタル膜として金属化合物膜7の単層膜を用いた第7の実施形態に比べて、第8の実施形態における第2のバリアメタル膜は低抵抗のバリアメタル膜を形成することができる。

[0224] なお、本実施形態ではデュアルダマシン構造を採用した場合について説明したが、配線と配線の一部であるビアプラグが形成されるシングルダマシン構造を採用した場合であっても、前述と同様の効果を得ることができる。

[0225] 以上述べたように、本発明の第8の実施形態によると、低抵抗であって、且つ、第2の絶縁膜6、金属化合物膜7及び一層以上の金属を含む膜9よりなる第2のバリアメタル膜、及び第2の配線8のすべてにわたって高い密着性が得られる。したがって、高い密着性を有するバリアメタル膜を備えた多層配線を実現することができ、これにより、信頼性の高い半導体装置を製造することができる。

[0226] (第9の実施形態)

以下、本発明の第8の実施形態に係る半導体装置の製造方法について、図10(a)～(c)を参照しながら説明する。図10(a)～(c)は、本発明の第8の実施形態に係る半導体装置の製造方法を示す工程断面図である。なお、第9の実施形態では、第7の実施形態と共通する部分はその説明を繰り返さないことにして、以下では、第7の実施形態と異なる点を中心に説明する。なお、図10(a)～(c)では、図7(a)～(c)における構成部分と共通する部分には同一の符号を付している。

[0227] 第9の実施形態に係る半導体装置の製造方法では、図10(a)に示すように、デュアルダマシン配線溝の凹部6cを形成する工程の後に、凹部6cの内部を含む第2の絶縁膜6の上に第3の絶縁膜10を形成する工程を備えている点が特徴である。第3の絶縁膜10を形成した後は、図10(b)に示すように、第3の絶縁膜10の上に、該第3の絶縁膜10を構成する元素の少なくとも1つを含む金属化合物膜7を形成する。続いて、図10(c)に示すように、第7の実施形態と同様にして、デュアルダマシン配線

である第2の配線8を形成する。

[0228] このようにすると、第2の絶縁膜6と第3の絶縁膜10とは絶縁膜同士であるので、金属と絶縁膜との組み合わせ、又は金属化合物膜と絶縁膜との組み合わせよりも、第2の絶縁膜6と第3の絶縁膜10とは密着性が高い。このため、密着性を向上させるために選択する第3の絶縁膜10と金属化合物膜7との組み合わせの自由度を増大させることができる。

[0229] また、金属化合物膜7と第3の絶縁膜10との組み合わせは、前述した第1～第4の実施形態で示した金属化合物膜7と第2の絶縁膜6との組み合わせと同様に、第2のバリアメタル膜を構成する金属化合物膜7に適合する絶縁膜を第3の絶縁膜10として決定すればよい。この場合、金属化合物膜7と第3の絶縁膜10との密着性は、第1～第4の実施形態で示した金属化合物膜7と第2の絶縁膜6との密着性の場合と同様の効果を得ることができる。したがって、金属化合物膜7と第3の絶縁膜10との組み合わせを決める上で選択肢が増えるので、半導体装置の設計の自由度を増大させることができる。

[0230] 以上のように、前述した第1～第4の実施形態で示した第2の絶縁膜6と金属化合物膜7との組み合わせと同様の組み合わせを満足するように、第3の絶縁膜10を選択することにより、低抵抗であって、且つ、密着性が高いバリアメタルを有する多層配線を具備した信頼性の高い半導体装置を実現することができる。

[0231] また、第8の実施形態と第9の実施形態とを組み合わせることにより、それぞれの実施形態の効果を得ることができる。すなわち、本実施形態における金属化合物膜7を形成する工程の後に、一層以上の金属を含む膜9を形成する工程を付加することにより、金属膜よりも相対的に高い比抵抗を有する金属化合物膜7の表面に、該金属化合物膜7よりも低抵抗な金属膜又は金属膜及び金属化合物膜よりなる多層膜を形成する。これにより、第2のバリアメタル膜として金属化合物膜7の単層膜を用いる第8の実施形態に比べて、低抵抗のバリアメタル膜を形成することができる。

[0232] なお、本実施形態ではデュアルダマシン構造を採用した場合について説明したが、配線と配線の一部であるビアプラグが形成されるシングルダマシン構造を採用した

場合であっても、前述と同様の効果を得ることができる。

[0233] 以上説明したように、第9の実施形態によると、低抵抗であって、且つ、密着性の高いバリアメタル膜を有する多層配線を具備した信頼性の高い半導体装置を実現することができる。

#### 産業上の利用可能性

[0234] 以上説明したように、本発明は、低抵抗であって、且つ、高密着性を実現するバリアメタル膜を備えた半導体装置及びその製造方法などに有用である。



## 請求の範囲

- [1] 基板上に形成された絶縁膜と、前記絶縁膜中に形成された埋め込み金属配線と、前記絶縁膜と前記金属配線との間に形成されたバリアメタル膜とを有する半導体装置において、
- 前記バリアメタル膜は、金属化合物膜であり、
- 前記金属化合物膜は、前記絶縁膜を構成する元素のうち少なくとも1つを含んでいることを特徴とする半導体装置。
- [2] 前記金属化合物膜は、金属窒化膜であり、
- 前記絶縁膜は、窒素を含んでいることを特徴する請求項1に記載の半導体装置。
- [3] 前記金属化合物膜は、金属酸化膜であり、
- 前記絶縁膜は、酸素を含んでいることを特徴する請求項1に記載の半導体装置。
- [4] 前記金属化合物膜は、金属炭化膜であり、
- 前記絶縁膜は、炭素を含んでいることを特徴する請求項1に記載の半導体装置。
- [5] 前記金属化合物膜は、金属ケイ化膜であり、
- 前記絶縁膜は、ケイ素を含んでいることを特徴する請求項1に記載の半導体装置。
- [6] 前記金属化合物膜を構成する金属は、高融点金属であることを特徴とする請求項1に記載の半導体装置。
- [7] 前記金属配線は、銅又は銅合金よりなることを特徴とする請求項1に記載の半導体装置。
- [8] 基板上に形成された絶縁膜と、前記絶縁膜中に形成された埋め込み金属配線と、前記絶縁膜と前記金属配線との間に形成されたバリアメタル膜とを有する半導体装置において、
- 前記バリアメタル膜は、前記絶縁膜と接するように形成された金属化合物膜、及び前記金属化合物膜の上に形成された1層以上の金属を含む膜よりなり、
- 前記金属化合物膜は、前記絶縁膜を構成する元素のうち少なくとも1つを含んでいることを特徴とする半導体装置。
- [9] 前記1層以上の金属を含む膜は、金属膜、金属化合物膜、又は前記金属膜及び前記金属化合物膜のうちから選ばれた膜を組み合わせてなる多層膜よりなることを特

徴とする請求項8に記載の半導体装置。

- [10] 前記金属化合物膜は、金属窒化膜であり、  
前記絶縁膜は、窒素を含んでいることを特徴する請求項8に記載の半導体装置。
- [11] 前記金属化合物膜は、金属酸化膜であり、  
前記絶縁膜は、酸素を含んでいることを特徴する請求項8に記載の半導体装置。
- [12] 前記金属化合物膜は、金属炭化膜であり、  
前記絶縁膜は、炭素を含んでいることを特徴する請求項8に記載の半導体装置。
- [13] 前記金属化合物膜は、金属ケイ化膜であり、  
前記絶縁膜は、ケイ素を含んでいることを特徴する請求項8に記載の半導体装置。
- [14] 前記金属化合物膜を構成する金属は、高融点金属であることを特徴とする請求項8に記載の半導体装置。
- [15] 前記金属配線は、銅又は銅合金よりなることを特徴とする請求項8に記載の半導体装置。
- [16] 基板上に形成された絶縁膜と、前記絶縁膜中に形成された埋め込み金属配線と、  
前記絶縁膜と前記金属配線との間に形成されたバリアメタル膜とを有する半導体装置において、  
前記バリアメタル膜は、前記絶縁膜と接するように形成された金属ケイ化膜又は金属炭化膜からなる金属化合物膜よりなり、  
前記絶縁膜は、IV族元素を含んでいることを特徴とする半導体装置。
- [17] 前記金属化合物膜を構成する金属は、高融点金属であることを特徴とする請求項16に記載の半導体装置。
- [18] 前記金属配線は、銅又は銅合金よりなることを特徴とする請求項16に記載の半導体装置。
- [19] 基板上に形成された絶縁膜と、前記絶縁膜中に形成された埋め込み金属配線と、  
前記絶縁膜と前記金属配線との間に形成されたバリアメタル膜とを有する半導体装置において、  
前記バリアメタル膜は、前記絶縁膜と接するように形成された金属ケイ化膜又は金属炭化膜よりなる金属化合物膜、及び前記金属化合物膜の上に形成された1層以上

の金属を含む膜よりなり、

前記絶縁膜は、IV族元素を含んでいることを特徴とする半導体装置。

[20] 前記1層以上の金属を含む膜は、金属膜、金属化合物膜、又は前記金属膜及び前記金属化合物膜のうちから選ばれた膜を組み合わせてなる多層膜よりなることを特徴とする請求項19に記載の半導体装置。

[21] 前記金属化合物膜を構成する金属は、高融点金属であることを特徴とする請求項19に記載の半導体装置。

[22] 前記金属配線は、銅又は銅合金よりなることを特徴とする請求項19に記載の半導体装置。

[23] 基板上に形成された第1の絶縁膜と、前記第1の絶縁膜中に形成された埋め込み金属配線と、前記第1の絶縁膜と前記金属配線との間に形成されたバリアメタル膜とを有する半導体装置において、

前記第1の絶縁膜と前記バリアメタル膜との間には、第2の絶縁膜が形成されており、

、

前記バリアメタル膜は、金属化合物膜であり、

前記金属化合物膜は、前記第2の絶縁膜を構成する金属のうち少なくとも1つを含んでいることを特徴とする半導体装置。

[24] 前記金属化合物膜と前記金属配線との間には、1層以上の金属を含む膜が形成されていることを特徴とする請求項23に記載の半導体装置。

[25] 前記1層以上の金属を含む膜は、金属膜、金属化合物膜、又は前記金属膜及び前記金属化合物膜のうちから選ばれた膜を組み合わせてなる多層膜よりなることを特徴とする請求項23に記載の半導体装置。

[26] 前記金属化合物膜は、金属窒化膜であり、  
前記第2の絶縁膜は、窒素を含んでいることを特徴する請求項23に記載の半導体装置。

[27] 前記金属化合物膜は、金属酸化膜であり、  
前記第2の絶縁膜は、酸素を含んでいることを特徴する請求項23に記載の半導体装置。

- [28] 前記金属化合物膜は、金属炭化膜であり、  
前記第2の絶縁膜は、炭素を含んでいることを特徴する請求項23に記載の半導体装置。
- [29] 前記金属化合物膜は、金属ケイ化膜であり、  
前記第2の絶縁膜は、ケイ素を含んでいることを特徴する請求項23に記載の半導体装置。
- [30] 前記金属化合物膜を構成する金属は、高融点金属であることを特徴とする請求項23に記載の半導体装置。
- [31] 前記金属配線は、銅又は銅合金よりなることを特徴とする請求項23に記載の半導体装置。
- [32] 基板上に形成された第1の絶縁膜と、前記第1の絶縁膜中に形成された埋め込み金属配線と、前記第1の絶縁膜と前記金属配線との間に形成されたバリアメタル膜とを有する半導体装置において、  
前記第1の絶縁膜と前記バリアメタル膜との間には、第2の絶縁膜が形成されており、  
前記バリアメタル膜は、金属ケイ化膜又は金属炭化膜よりなる金属化合物膜であり、  
前記第2の絶縁膜は、IV族元素を含んでいることを特徴とする半導体装置。
- [33] 前記金属化合物膜と前記金属配線との間には、1層以上の金属を含む膜がさらに形成されていることを特徴とする請求項32に記載の半導体装置。
- [34] 前記金属化合物膜を構成する金属は、高融点金属であることを特徴とする請求項32に記載の半導体装置。
- [35] 前記金属配線は、銅又は銅合金よりなることを特徴とする請求項32に記載の半導体装置。
- [36] 基板上的絶縁膜に凹部を形成する工程と、  
少なくとも前記凹部の壁面に沿うように、前記絶縁膜を構成する元素のうち少なくとも1つを含む金属化合物膜よりなるバリアメタル膜を形成する工程と、  
前記凹部を埋め込むように、前記バリアメタル膜の上に埋め込み金属配線を形成

する工程とを備えることを特徴とする半導体装置の製造方法。

- [37] 基板上の第1の絶縁膜に凹部を形成する工程と、  
少なくとも前記凹部の壁面に沿うように、第2の絶縁膜を形成する工程と、  
前記第2の絶縁膜の上に、前記第2の絶縁膜を構成する元素のうち少なくとも1つを含む金属化合物膜を形成する工程と、  
前記凹部を埋め込むように、前記金属化合物膜の上に埋め込み金属配線を形成する工程とを備えることを特徴とする請求項36に記載の半導体装置の製造方法。
- [38] 前記バリアメタル膜を形成する工程は、  
前記金属化合物膜を形成した後に、前記金属化合物膜の上に1層以上の金属を含む膜をさらに形成して、前記金属化合物及び前記1層以上の金属を含む膜よりなる前記バリアメタル膜を形成する工程を含むことを特徴とする請求項36に記載の半導体装置の製造方法。
- [39] 前記1層以上の金属を含む膜は、金属膜、金属化合物膜、又は前記金属膜及び前記金属化合物膜のうちから選ばれた膜を組み合わせてなる多層膜よりなることを特徴とする請求項38に記載の半導体装置の製造方法。
- [40] 前記金属化合物膜は、金属窒化膜であり、  
前記金属化合物膜に隣接して形成されている前記絶縁膜は、窒素を含んでいることを特徴する請求項36に記載の半導体装置の製造方法。
- [41] 前記金属化合物膜は、金属酸化膜であり、  
前記金属化合物膜に隣接して形成されている前記絶縁膜は、酸素を含んでいることを特徴する請求項36に記載の半導体装置の製造方法。
- [42] 前記金属化合物膜は、金属炭化膜であり、  
前記金属化合物膜に隣接して形成されている前記絶縁膜は、炭素を含んでいることを特徴する請求項36に記載の半導体装置の製造方法。
- [43] 前記金属化合物膜は、金属ケイ化膜であり、  
前記金属化合物膜に隣接して形成されている前記絶縁膜は、ケイ素を含んでいることを特徴する請求項36に記載の半導体装置の製造方法。
- [44] 前記金属化合物膜を構成する金属は、高融点金属であることを特徴とする請求項

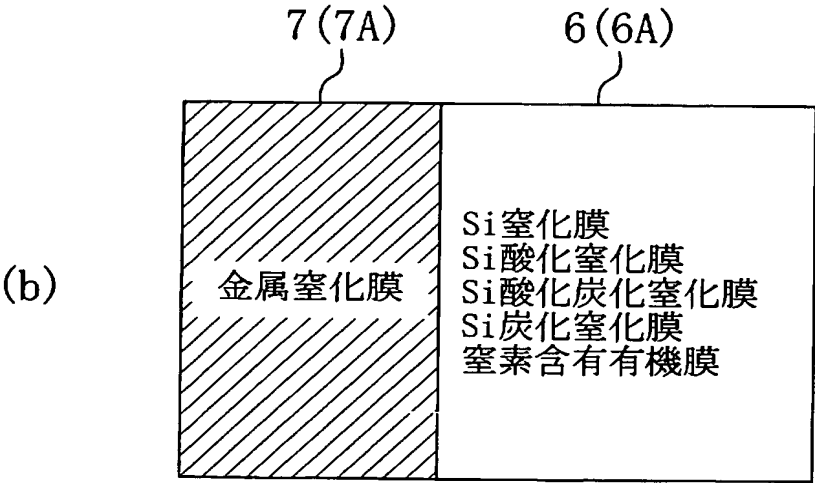
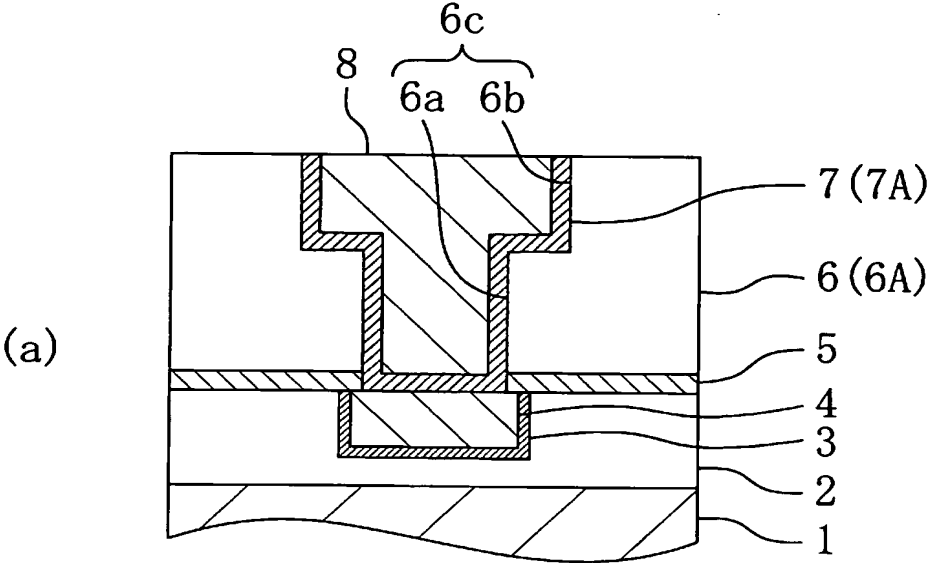
36に記載の半導体装置の製造方法。

- [45] 前記金属配線は、銅又は銅合金よりなることを特徴とする請求項36に記載の半導体装置の製造方法。
- [46] 基板上のIV族元素を含む絶縁膜に凹部を形成する工程と、  
少なくとも前記凹部の壁面に沿うように、金属ケイ化膜又は金属炭化膜からなる金属化合物膜よりなるバリアメタル膜を形成する工程と、  
前記凹部を埋め込むように、前記バリアメタル膜の上に埋め込み金属配線を形成する工程とを備えることを特徴とする半導体装置の製造方法。
- [47] 前記バリアメタル膜を形成する工程は、  
前記金属化合物膜を形成した後に、前記金属化合物膜の上に1層以上の金属を含む膜を形成して、前記金属化合物膜及び前記1層以上の金属を含む膜よりなる前記バリアメタル膜を形成する工程を含むことを特徴とする請求項46に記載の半導体装置の製造方法。
- [48] 前記金属化合物膜を構成する金属は、高融点金属であることを特徴とする請求項46に記載の半導体装置の製造方法。
- [49] 前記金属配線は、銅又は銅合金よりなることを特徴とする請求項46に記載の半導体装置の製造方法。
- [50] 基板上の第1の絶縁膜に凹部を形成する工程と、  
少なくとも前記凹部の壁面に沿うように、IV族元素を含む第2の絶縁膜を形成する工程と、  
前記第2の絶縁膜の上に、金属ケイ化膜又は金属炭化膜からなる金属化合物膜よりなるバリアメタル膜を形成する工程と、  
前記凹部を埋め込むように、前記バリアメタル膜の上に埋め込み金属配線を形成する工程とを備えることを特徴とする半導体装置の製造方法。
- [51] 前記バリアメタル膜を形成する工程は、  
前記金属化合物膜を形成した後に、前記金属化合物膜の上に1層以上の金属を含む膜を形成して、前記金属化合物膜及び前記1層以上の金属を含む膜よりなる前記バリアメタル膜を形成する工程を含むことを特徴とする請求項50に記載の半導体

装置の製造方法。

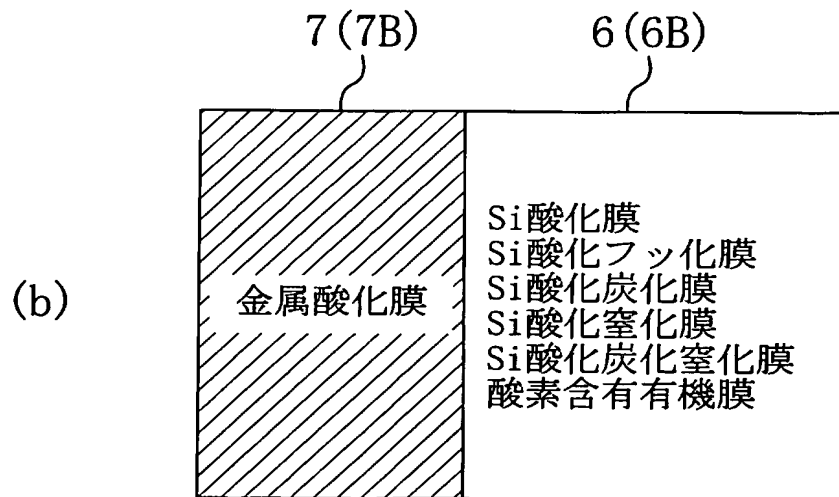
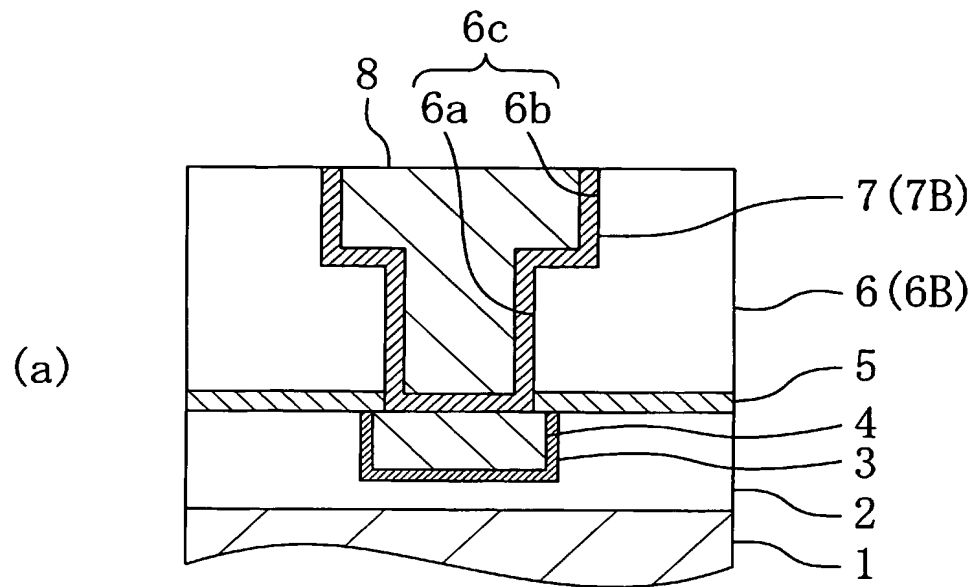
- [52] 前記金属化合物膜を構成する金属は、高融点金属であることを特徴とする請求項50に記載の半導体装置の製造方法。
- [53] 前記金属配線は、銅又は銅合金よりなることを特徴とする請求項50に記載の半導体装置の製造方法。

[図1]

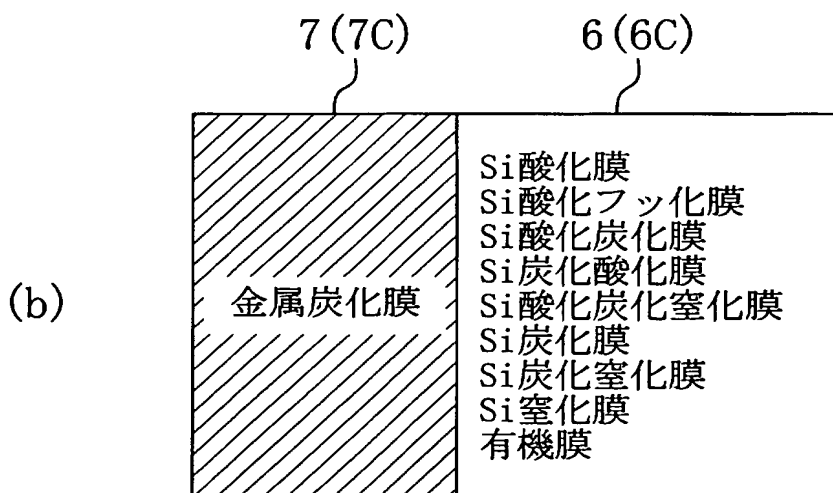
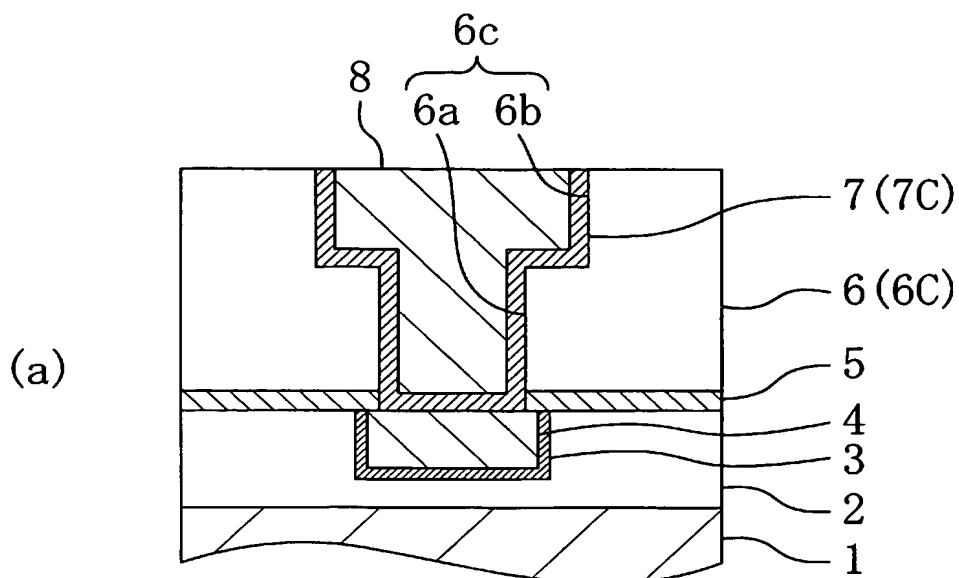




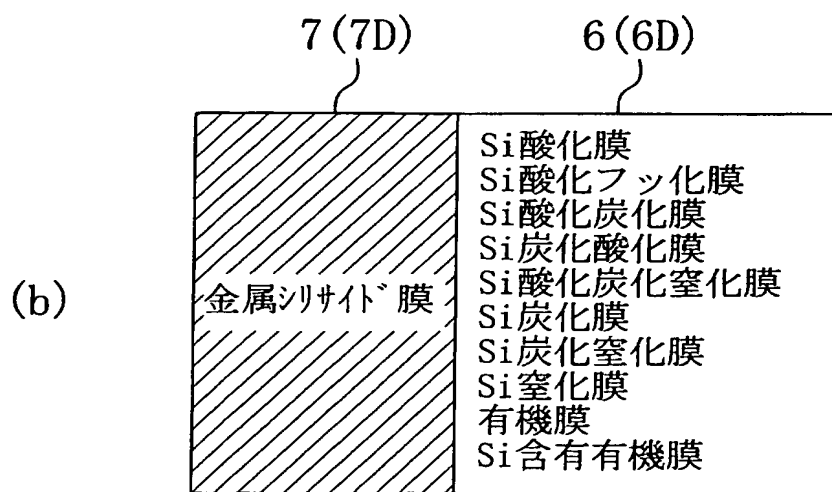
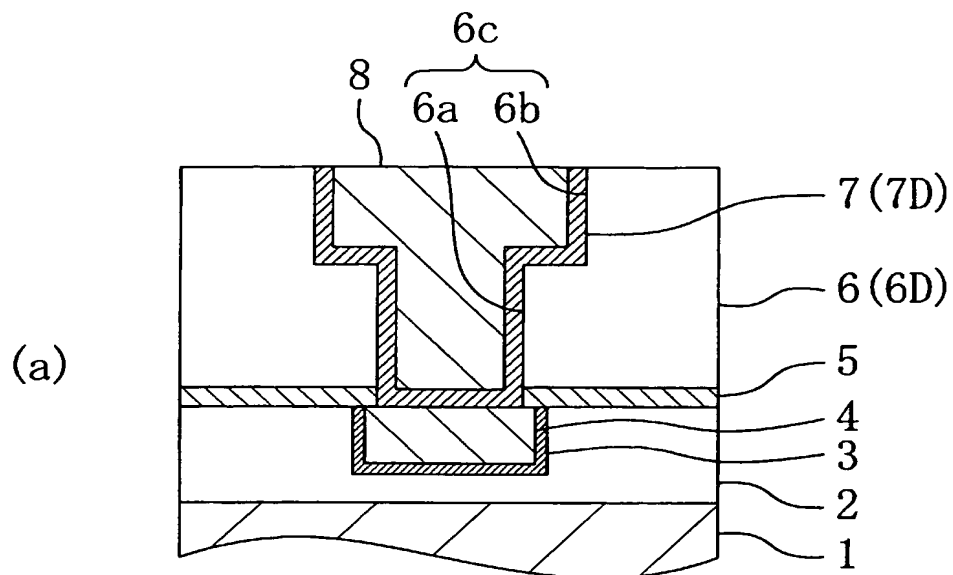
[図2]



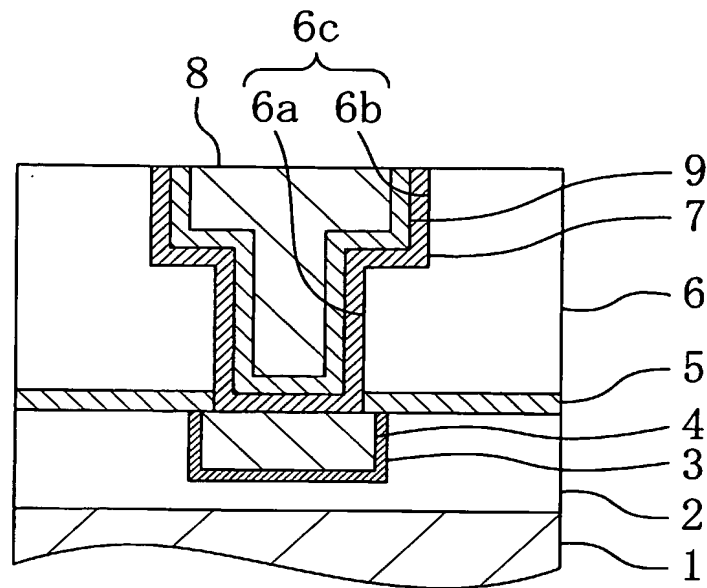
[図3]



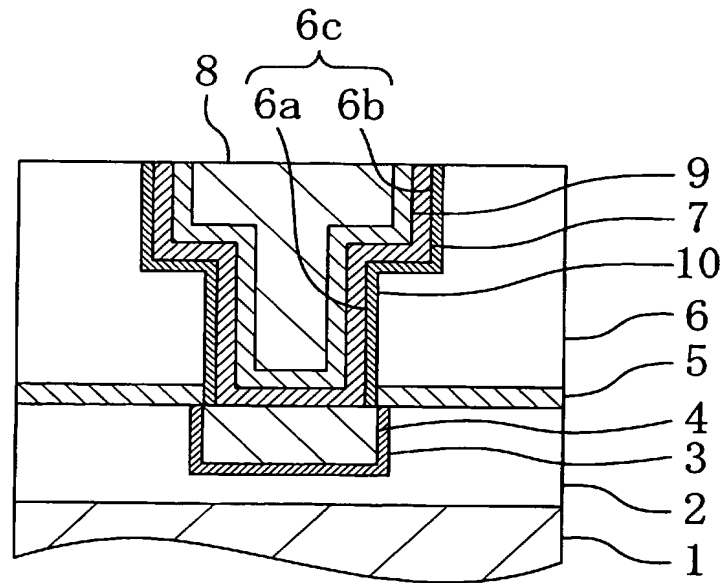
[図4]



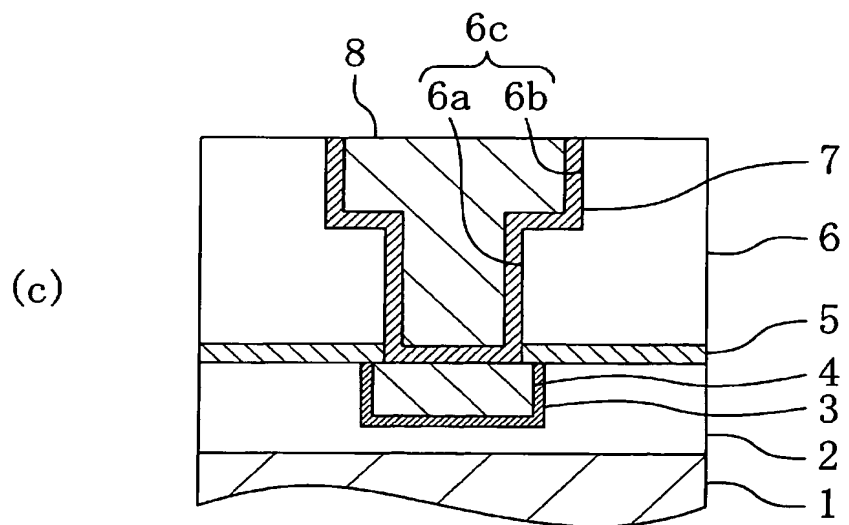
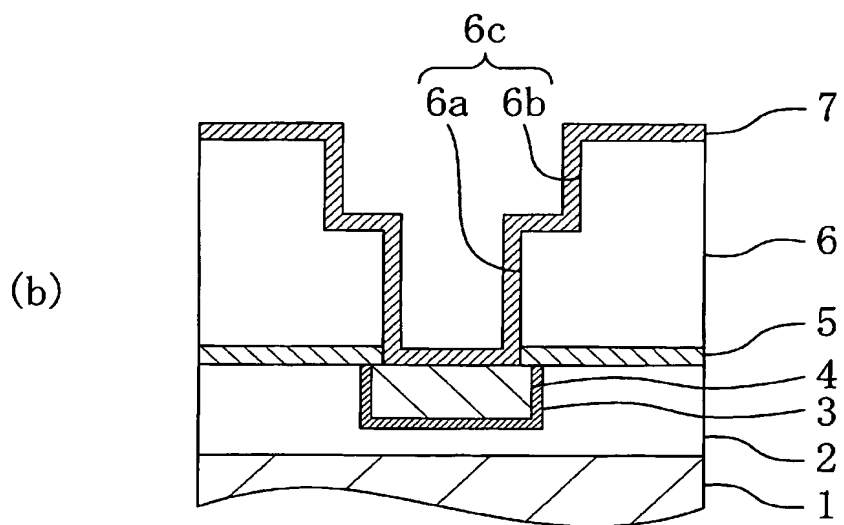
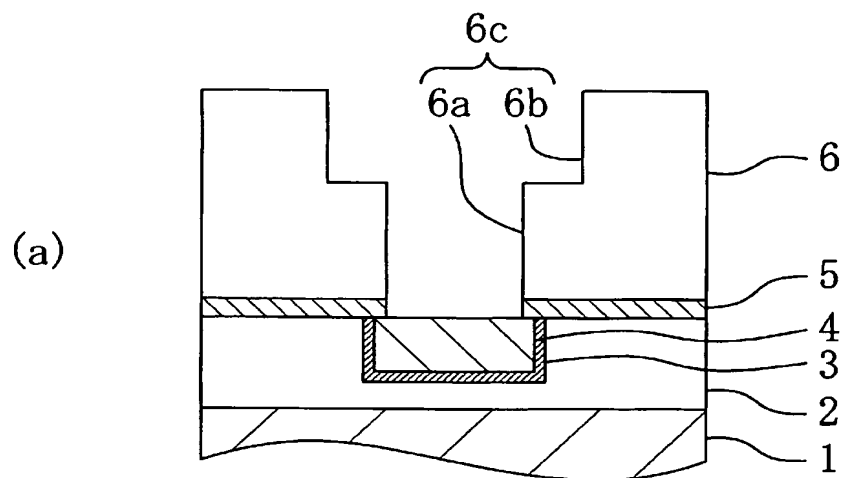
[図5]



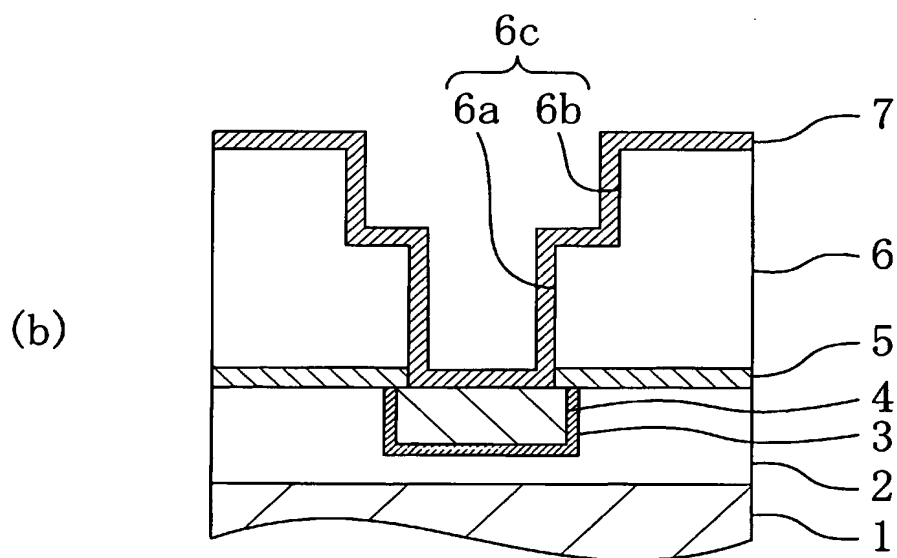
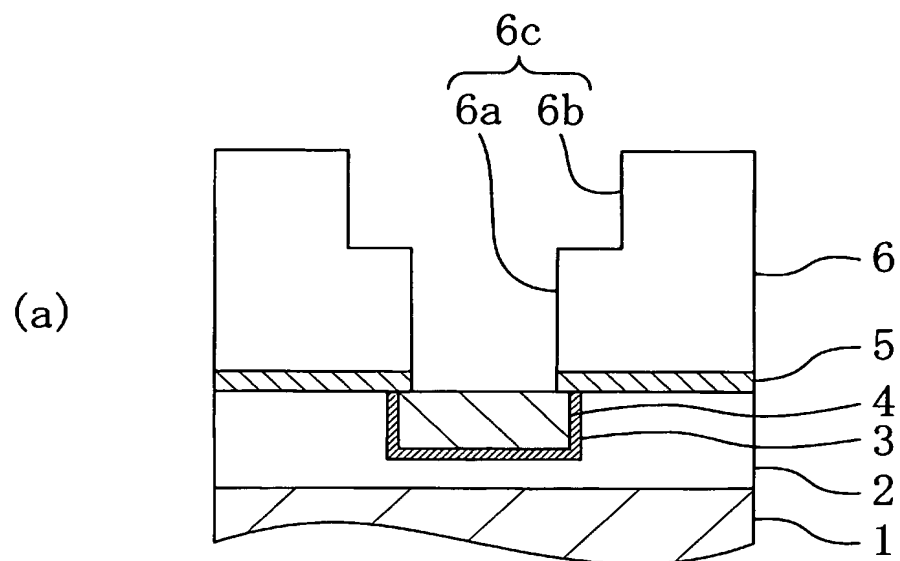
[図6]



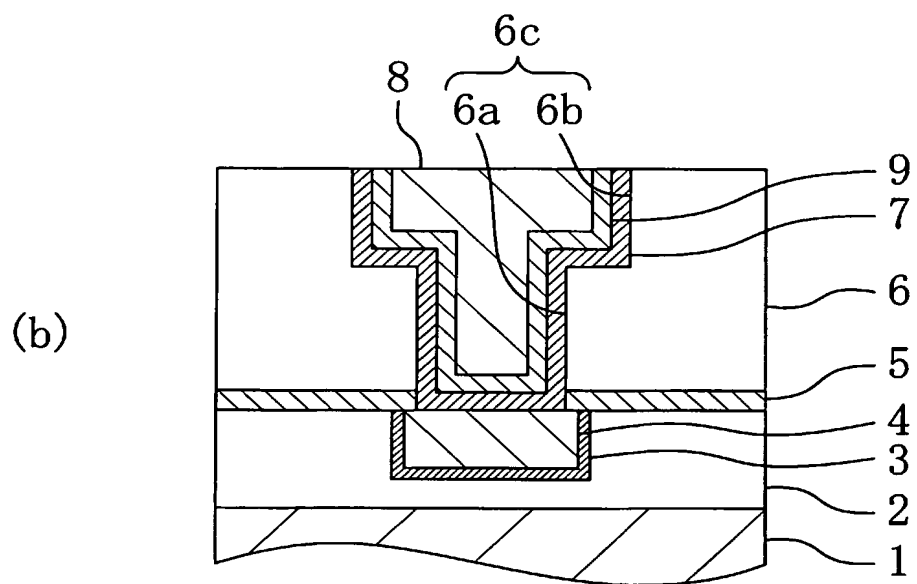
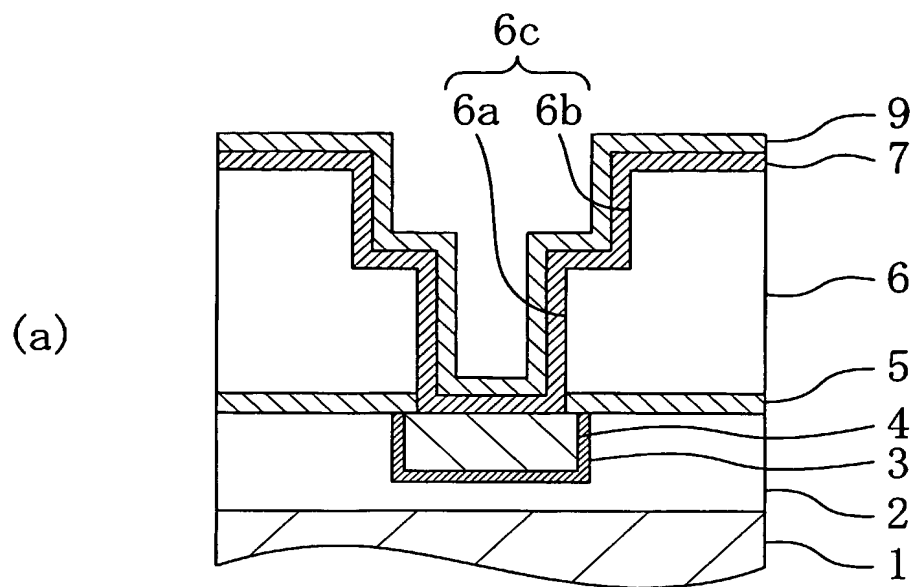
[図7]



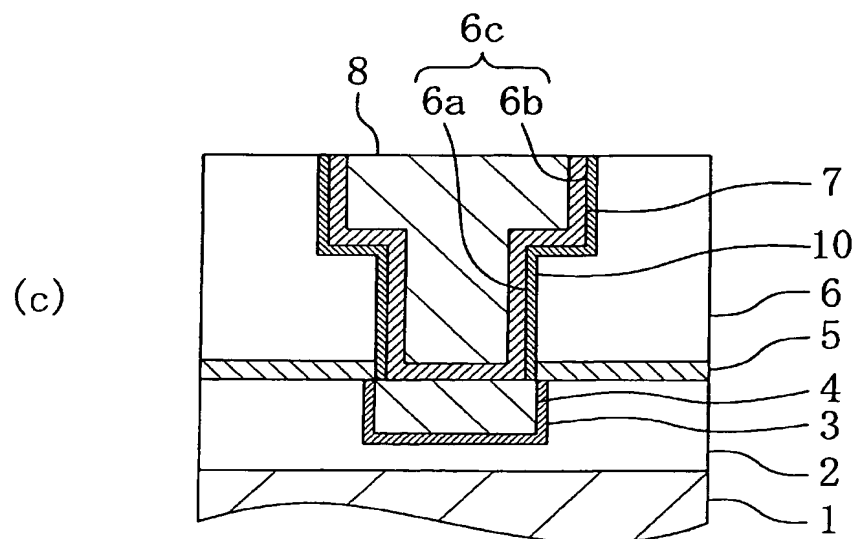
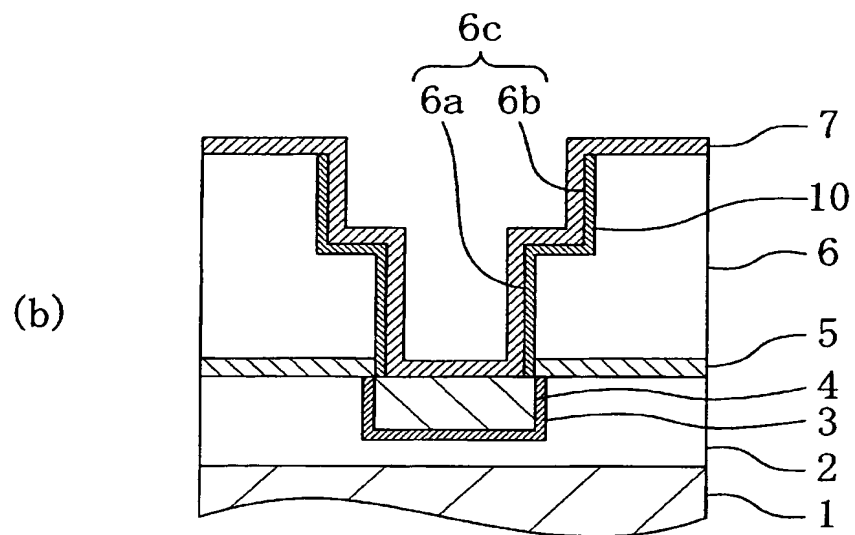
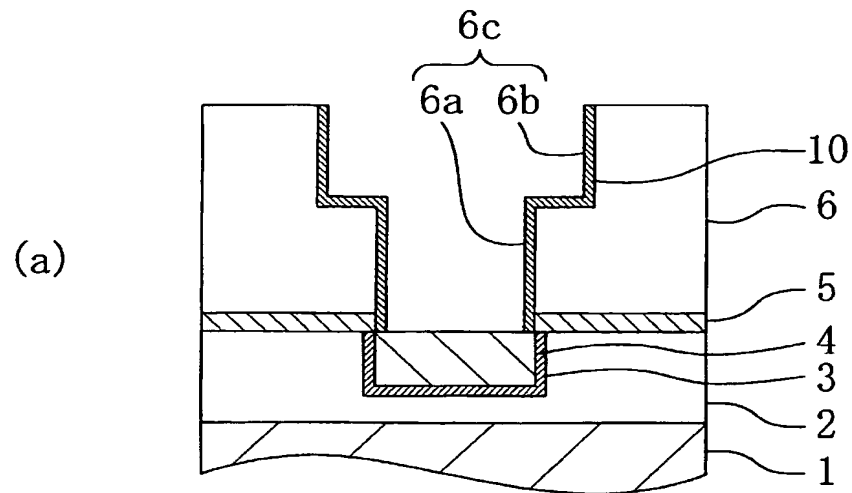
[図8]



[図9]

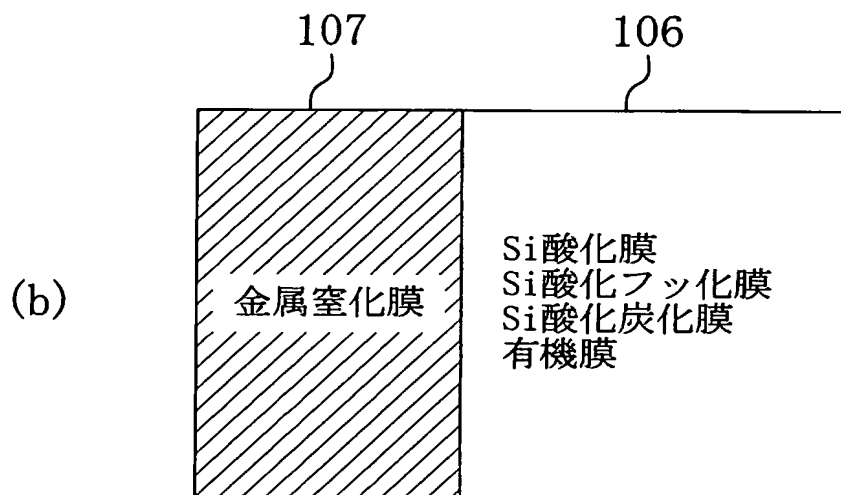
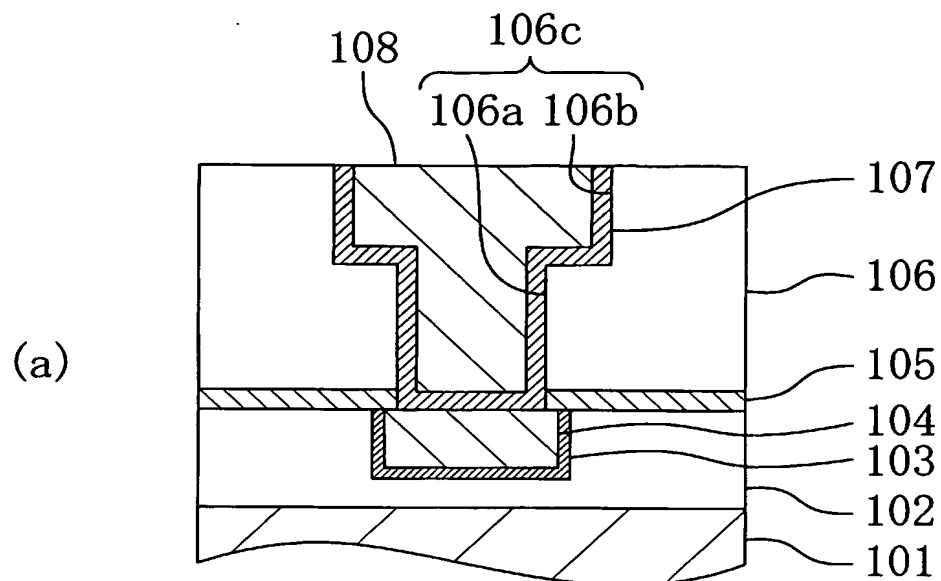


[図10]





[図11]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/009268

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.<sup>7</sup> H01L21/3205, 21/768

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.<sup>7</sup> H01L21/3205, 21/768

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2005	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2003-297919 A (Toshiba Corp.), 17 October, 2003 (17.10.03), Par. Nos. [0018] to [0023]; Fig. 1 & US 2004/0038520 A1	1, 2, 6, 7
X	JP 2002-110788 A (Toshiba Corp.), 12 April, 2002 (12.04.02), Par. Nos. [0029] to [0045]; Fig. 1 (Family: none)	1, 2, 6, 7
X	WO 2000/048241 A1 (Asahi Glass Co., Ltd.), 17 August, 2000 (17.08.00), Full text; all drawings & US 6639318 B1 & EP 1075019 A1	1, 3, 6, 7

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&amp;" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
10 August, 2005 (10.08.05)Date of mailing of the international search report  
23 August, 2005 (23.08.05)Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/009268

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 5-218035 A (Sharp Corp.), 27 August, 1993 (27.08.93), Full text; all drawings (Family: none)	1, 3, 6, 7
X	JP 2000-252357 A (NEC Corp.), 14 September, 2000 (14.09.00), Par. Nos. [0018] to [0030]; Figs. 1 to 5 (Family: none)	1, 4, 6, 7
X	JP 11-330075 A (Tokyo Electron Ltd.), 30 November, 1999 (30.11.99), Par. Nos. [0013] to [0022]; Figs. 1 to 4 & US 6720659 B1 & EP 1077486 A1 & WO 1999/057760 A1	1, 4, 6, 7
X	JP 2002-353306 A (Texas Instruments Inc.), 06 December, 2002 (06.12.02), Par. Nos. [0009] to [0011]; Fig. 1 & EP 1249867 A3 & US 2002/0001944 A1	1, 5-7
X	JP 2002-231723 A (Texas Instruments Inc.), 16 August, 2002 (16.08.02), Par. Nos. [0024] to [0038]; Figs. 1 to 3 & US 6747353 B2	1, 5-7

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/009268

**Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)**

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
3. ☐ Claims Nos.:  
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

**Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)**

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

The inventions of claims 1-53 are considered to be linked only by the technical feature in that the barrier metal film in contact with the insulating film contains at least one of the elements constituting the insulating film. Since a technique wherein a silicon oxide film is used as an interlayer insulating film and a film containing silicon is used as a barrier metal is well known to a person skilled in the art (if necessary, refer to JP 2002-231723 A, paragraphs [0024]-[0038] and Figs. 1-3, (Texas Instruments Inc.)), the above technical feature including such a technique cannot be a "special technical feature".

(continued to extra sheet)

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.: 1 - 7

**Remark on Protest**

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/009268

Continuation of Box No. III of continuation of first sheet (2)

Consequently, the group of inventions set forth in claims 1-53 does not satisfy the requirement of unity of invention.

Next, the number of groups of inventions set forth in the claims of this international application so linked as to form a single general inventive concept, namely, the number of inventions will be examined. Judging from the modes described in the independent claims, the claims of this international application are considered to contain nine inventions: the invention of claims [1-7]; the invention of claims [8-15]; the invention of claims [16-18]; the invention of claims [19-22]; the invention of claims [23-31]; the invention of claims [32-35]; the invention of claims [36-45]; the invention of claims [46-49]; and the invention of claims [50-53].

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.<sup>7</sup> H01L21/3205, 21/768

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.<sup>7</sup> H01L21/3205, 21/768

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2005年
日本国実用新案登録公報	1996-2005年
日本国登録実用新案公報	1994-2005年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 2003-297919 A (株式会社東芝) 2003. 10. 17, 段落番号【0018】 - 【0023】、図 1 & US 2004/0038520 A1	1, 2, 6, 7
X	JP 2002-110788 A (株式会社東芝) 2002. 04. 12, 段落番号【0029】 - 【0045】、図 1 (ファミリーなし)	1, 2, 6, 7
X	WO 2000/048241 A1 (旭硝子株式会社) 2000. 08. 17, 全文、全図 & US 6639318 B1 & EP 1075019 A1	1, 3, 6, 7

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

10. 08. 2005

国際調査報告の発送日

23. 8. 2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

綿引 隆

電話番号 03-3581-1101 内線 3498

4 L

3 2 3 9

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 5-218035 A (シャープ株式会社) 1993. 08. 27, 全文、全図 (ファミリーなし)	1, 3, 6, 7
X	JP 2000-252357 A (日本電気株式会社) 2000. 09. 14, 段落番号【0018】 - 【0030】、図 1-5 (ファミリーなし)	1, 4, 6, 7
X	JP 11-330075 A (東京エレクトロン株式会社) 1999. 11. 30, 段落番号【0013】 - 【0022】、図 1-4 & US 6720659 B1 & EP 1077486 A1 & WO 1999/057760 A1	1, 4, 6, 7
X	JP 2002-353306 A (テキサス インスツルメンツ インコーポレイ テッド) 2002. 12. 06, 段落番号【0009】 - 【0011】、図 1 & EP 1249867 A3 & US 2002/0001944 A1	1, 5-7
X	JP 2002-231723 A (テキサス インスツルメンツ インコーポレイ テッド) 2002. 08. 16, 段落番号【0024】 - 【0038】、図 1-3 & US 6747353 B2	1, 5-7

## 第Ⅱ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見 (第1ページの2の続き)

法第8条第3項 (PCT17条(2)(a)) の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。  
つまり、
2. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

## 第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見 (第1ページの3の続き)

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところこの国際調査機関は認めた。

請求の範囲1～53に記載された発明は、絶縁膜と接するバリアメタル膜が、当該絶縁膜を構成する元素のうち少なくとも1つを含むという事項でのみ連関すると認められる。しかしながら、層間絶縁膜としてシリコン酸化膜を用い、バリアメタルとしてシリコンを含む膜を用いることは当業者には広く知られた技術 (必要があれば、JP2002-231723 A、段落番号【0024】～【0038】、図1～図3 (テキサス インスツルメンツ インコーポレイテッド) を参照) であり、このような技術をも含む前記事項は、「特別な技術的特徴」とはなり得ない。ゆえに、請求の範囲1～53に記載されている一群の発明は、発明の単一性の要件を満たしていない。次に、この国際出願の請求の範囲に記載されている、一般的発明概念を形成するように連関している発明の群の数、すなわち、発明の数につき検討すると、独立請求の範囲に記載されている発明の特定の態様からして、この国際出願の請求の範囲には、[1～7]、[8～15]、[16～18]、[19～22]、[23～31]、[32～35]、[36～45]、[46～49]、[50～53]とに区分される9個の発明が記載されていると認める。

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. ☒ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

請求の範囲 1-7

## 追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。